

**BỘ CÔNG THƯƠNG  
TẬP ĐOÀN ĐIỆN LỰC VIỆT NAM  
VIỆN NĂNG LƯỢNG**

---

**MÃ SỐ: I- 147**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU CẤP BỘ  
NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH XUỐNG CẤP CÁCH ĐIỆN MÁY BIẾN  
ÁP ĐIỆN LỰC VÀ ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHỔ ĐIỆN MÔI ĐỂ  
CHẨN ĐOÁN CHẤT LƯỢNG CÁCH ĐIỆN TRONG MÁY BIẾN ÁP**

**Chủ nhiệm đề tài: KS. Lê Văn Khánh**

**7176**

*17/3/2009*

**Hà Nội, 12-2008**

**BỘ CÔNG THƯƠNG  
TẬP ĐOÀN ĐIỆN LỰC VIỆT NAM  
VIỆN NĂNG LƯỢNG**

MÃ SỐ : I-147

**ĐỀ TÀI NCKH**

**NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH XUỐNG CẤP CÁCH ĐIỆN  
MÁY BIẾN ÁP ĐIỆN LỰC VÀ ỨNG DỤNG PHƯƠNG  
PHÁP PHỔ ĐIỆN MÔI ĐỂ CHẨN ĐOÁN CHẤT  
LƯỢNG CÁCH ĐIỆN TRONG MÁY BIẾN ÁP**

Trưởng phòng : Ths. Vũ Thanh Hải

Chủ nhiệm đề tài : Ks Lê Văn Khánh

Tham gia: Các nghiên cứu viên phòng NCKTĐ  
cao áp & Vật liệu cách điện



Hà nội - 2008

## MỤC LỤC

MỞ ĐẦU .....	5
CHƯƠNG I: TỔNG QUAN VỀ MÁY BIẾN ÁP LỰC VÀ QUÁ TRÌNH XUỐNG CẤP CÁCH ĐIỆN TRONG MÁY BIẾN ÁP LỰC .....	7
1.1. Đặt vấn đề .....	7
1.2. Tác động trực tiếp của môi trường nhiệt đới .....	8
1.2.1. Tác động của bức xạ mặt trời .....	8
1.2.2. Ảnh hưởng của độ ẩm không khí .....	9
1.2.3. Ảnh hưởng của khí hậu .....	9
1.3. Ảnh hưởng của độ ẩm đến cách điện của MBA .....	9
1.3.1. Đối với dầu máy biến áp .....	10
1.3.2. Ảnh hưởng của oxy trong dầu cách điện .....	10
1.3.3. Hàm lượng ẩm trong dầu cách điện .....	11
1.3.4. Quá trình đổi lưu .....	13
1.3.5. Quá trình bức xạ .....	17
1.3.6. Quy luật già cỗi cách điện .....	20
1.3.7. Quá trình lão hóa cách điện .....	23
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ ỨNG DỤNG CỦA PHƯƠNG PHÁP ĐO SỰ HỒI PHỤC ĐIỆN MÔI .....	25
2.1 Đáp ứng điện môi dưới tác động điện trường trong miền thời gian .....	25
2.2 Đáp ứng điện môi dưới tác động điện trường trong miền tần số .....	28
2.3 Nguyên lý của phép đo đáp ứng điện môi dưới tác động điện trường .....	30
2.3.1 Phép đo trong miền tần số .....	30
2.3.2 Phép đo trong miền thời gian .....	31
2.4 Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của đáp ứng điện môi (dielectric response) .....	33
2.5 Đáp ứng điện môi của hệ thống cách điện giấy – dầu .....	34
CHƯƠNG 3: SỰ XUỐNG CẤP CÁCH ĐIỆN MÁY BIẾN ÁP VÀ MỐI LIÊN QUAN TỚI CÁC PHÉP ĐO SỰ HỒI PHỤC ĐIỆN MÔI CÁCH ĐIỆN MÁY BIẾN ÁP .....	36
3.1 Đánh giá mức cách điện máy biến áp .....	36
3.1.1. Phân tích hoá học và vật lý .....	36
3.1.2. Những phép đo điện .....	37
3.1.2.1 Phương pháp truyền thống .....	37
3.1.2.2. Đo đáp ứng điện môi .....	40
3.2. Mô phỏng quá trình đáp ứng của điện môi .....	42
3.2.1. Các công nghệ mô hình hóa .....	42
3.2.1.1 Mô hình Debye với các hằng số đơn và hằng số phân phối thời gian. ....	42
3.2.1.2 Hàm phản ứng tổng quát .....	44
3.2.1.3 Mô hình X-Y .....	44
3.2.2. Ảnh hưởng của các thông số trong mô hình X-Y lên phản ứng FDS cuối cùng. ....	49
3.2.2.1 Ảnh hưởng của độ dẫn điện dầu .....	49
3.2.2.2 Ảnh hưởng của các miếng đệm .....	50
3.2.2.3 Sự biến thiên của hằng số điện môi tại 1kHz .....	53
3.2.2.4 Kết luận .....	55
3.2.3. Mô phỏng sử dụng mô hình X .....	56
3.2.4. Mô phỏng sử dụng hàm phân phối đáp ứng điện môi .....	57
CHƯƠNG 4: PHÂN TÍCH MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM TRÊN THỂ GIỚI ĐỐI VỚI MBA .....	59

4.1. GIỚI THIỆU CHUNG .....	59
4.1.1 Máy biến áp của điện lực Ceylon .....	59
4.1.2 Nghiên cứu các MBA nguồn tại CEB.....	59
4.1.2.1. Bảo trì MBA nguồn .....	60
4.1.2.2. Ghi chép thông tin.....	61
4.1.2.3. Các trường hợp thay thế MBA nguồn.....	62
4.1.3. Nghiên cứu MBA phân phối của CEB .....	62
4.2. PHƯƠNG PHÁP ĐO .....	63
4.2.1. Dụng cụ cho những phép đo đặc tính điện môi .....	63
4.2.2. Giới thiệu thiết bị đo IDAX-206.....	64
4.2.3. Những phép đo ngoài hiện trường .....	71
4.2.4. Những phép đo trong phòng thí nghiệm .....	71
4.2.4.1 Những phép đo với MBA .....	71
4.2.4.2 Những phép đo với buồng thử nghiệm dầu .....	72
4.2.4.3 Những phép đo với tấm ép mẫu.....	73
4.2.4.4 Những phép đo xác định tuổi của Karl Fischer .....	74
4.3. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT .....	74
4.3.1. Những tấm ép mẫu.....	74
4.3.2. MBA phân phối trong phòng thí nghiệm.....	76
4.3.2.1 Sử dụng mô hình X-Y và mô hình X.....	76
4.3.2.2. So sánh phép đo phổ điện môi trong miền thời gian và miền tần số. ....	77
4.3.3. Các MBA đo ngoài hiện trường.....	79
4.3.3.1. MBA một pha .....	79
4.3.3.2. MBA 3 pha.....	84
4.3.3.3. MBA phân phối.....	85
4.3.3.4. Một số kết quả đo đặc biệt .....	87
4.3.4. Nhận xét.....	88
Chương 5: TỔNG HỢP, ĐÁNH GIÁ KỸ THUẬT, KINH TẾ VÀ ĐỀ XUẤT SƠ ĐỒ	
BẢO DƯỠNG HỢP LÝ ĐỐI VỚI MBA LỰC ĐÁ VÀ ĐANG VẬN HÀNH .....	90
5.1. Đặt vấn đề .....	90
5.2. Sự cố ngừng hoạt động của các MBA lực và sự quản lý của Công ty điện lực.....	90
5.3. Tỷ lệ sự cố ảnh hưởng đến tuổi thọ trung bình của MBA .....	92
5.4. Hiệu quả của việc đại tu so với việc mua MBA mới. ....	93
5.5. Sự thay thế / trang bị mới đối với toàn bộ máy biến áp.....	94
CHƯƠNG VI: KẾT LUẬN .....	98
PHẦN PHỤ LỤC.....	100
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	107

## Những chữ viết tắt

HTĐ - Hệ thống điện  
MBA - Máy biến áp  
IR - Điện trở cách điện  
PI - Chỉ số phân cực  
RVM - Đo phục hồi điện áp  
PD - Đo phóng điện cục bộ  
PDC - Dòng phân cực và khử phân cực  
LV - Điện áp thấp  
HV - Điện áp cao  
FDS - Phổ điện môi trong miền tần số  
CEB - Ủy ban điện lực Ceylon  
KFT - Chuẩn độ Karl Fischer  
MODS- Phần mềm chuyên dụng để phục vụ đo điện  
DP - Độ trùng hợp

## MỞ ĐẦU

Yêu cầu cung cấp điện trong Hệ thống điện Việt Nam đòi hỏi càng ngày càng cao trong những năm gần đây. Vì thế, việc tránh những sự cố vận hành của hệ thống điện (HTĐ) trở nên ngày càng quan trọng. Tuy nhiên, do chi phí rất cao của các thiết bị cao áp, đặc biệt là máy biến áp, việc thay mới để nâng cao độ tin cậy sẽ là không kinh tế đối với nhiều thiết bị đã quá thời hạn sử dụng vì trên thực tế nhiều thiết bị này vẫn còn tình trạng khá tốt. Việc đánh giá đúng tình trạng của các MBA vì vậy là rất cần thiết trước khi đưa ra bất kỳ kết luận nào về việc thay thế hay đại tu lại các MBA này.

Sự xuống cấp trong cách điện của MBA, mà phần lớn là giấy và dầu, là nguyên nhân chính của hư hỏng MBA. Tuy nhiên, hầu hết các phân tích hóa học phải được thực hiện dưới điều kiện khắt khe như trong phòng thí nghiệm và thậm chí đối với một vài phân tích hóa học còn đòi hỏi phải lấy mẫu giấy trong MBA. Bên cạnh đó thì các kiểm tra bằng các phép đo điện tỏ ra đơn giản hơn và có thể được tiến hành tại chỗ, vì lý do này mà các kiểm tra điện thường được dùng nhiều hơn các kiểm tra hóa học mặc dù chúng không cung cấp trực tiếp các thông tin về các tham số được chỉ ra ở trên.

Việc xuống cấp khả năng cách điện MBA chủ yếu là do dầu và giấy cách điện gây ra, đó cũng là nguyên nhân chính gây ra sự cố ở MBA. Những phép phân tích hoá học và đo điện được sử dụng để kiểm tra điều kiện cách điện MBA. Trong đó, phép phân tích hoá học cung cấp trực tiếp những thông tin như thành phần nước, mức độ polimer hóa của giấy, lượng cặn trong dầu, độ axit trong dầu và lượng khí tan trong dầu. Tuy nhiên, hầu hết các phân tích hoá học phải thực hiện ở phòng thí nghiệm và một số phân tích hoá học còn cần có các mẫu giấy (vd: Kiểm tra Chromatography). Trong khi đó, những phép đo điện là đơn giản hơn và có thể được thực hiện mọi vị trí. Nhờ sự đơn giản và dễ dàng, những phép đo điện hiện nay thích hợp hơn cho việc đánh giá cách điện MBA thay vì kiểm tra hoá học mặc dù chúng không cung cấp trực tiếp thông tin như đã nêu trên.

Những phương pháp thử nghiệm điện truyền thống, như đo điện trở cách điện (IR), chỉ số phân cực (PI) và hệ số tổn hao ( $\tan\delta$ ) cung cấp rất ít thông tin về cách điện MBA bởi vì chúng chỉ có thể cung cấp các giá trị đơn. *Phép đo sự khôi phục điện môi* đã khắc phục được những nhược điểm này, cụ thể là những phép đo điện áp phục hồi (return voltage measurements (RVM), đo dòng phân cực và không phân cực (PDC) và những phép đo phổ tần số phục vụ cho việc kiểm tra các thông số cách điện của MBA, đặc biệt phục vụ cho việc đánh giá lượng ẩm trong giấy ép MBA. Ở những giai đoạn đầu, được đưa vào RVM do việc đo điện áp đơn giản hơn so với đo các dòng điện nhỏ. Còn có 2 phương pháp khác ứng dụng những thiết bị điện tử tinh vi trong thời gian gần đây. Chúng không chỉ là thay đổi công nghệ mà cách diễn giải kết quả cũng được nâng cao. Tuy nhiên, đối với hầu hết những phương pháp này, cần biết trước về cách bố trí hình học của cách điện, mà hầu hết các điện lực đều thiếu các thông tin về cấu trúc MBA. Do đó, phát sinh các khó khăn khi người ta áp dụng những công nghệ này. Vì lý do đó, vẫn cần hoàn thiện cách đưa ra kết quả của tất cả những công nghệ này, việc nghiên cứu bổ sung là rất

cần thiết. Cần so sánh kết quả thu được với kết quả của phép phân tích hoá học để hiệu chỉnh tương quan giữa dữ liệu về phục hồi điện môi và thành phần độ ẩm trong cách điện.

Những nghiên cứu trong báo cáo này đã được thực hiện nhằm làm sáng tỏ vấn đề sử dụng phương pháp phổ điện môi trong chẩn đoán sự xuống cấp cách điện máy biến áp lực.

Phương pháp phổ điện môi (Dielectric Spectroscopy) là phương pháp phân tích các đáp ứng của điện môi theo tần số của điện áp đặt vào (từ  $10^{-5}$  Hz đến  $10^7$  Hz). Trong việc kiểm tra cách điện trong MBA thì so với phương pháp phục hồi điện áp (RVM) và phương pháp dòng phân cực/hồi phân cực (PDC) thì phương pháp phổ điện môi là tiên tiến nhất vì chúng mới chỉ xuất hiện trong vài năm gần đây nhờ sự phát triển của các thiết bị điện tử tinh vi và những công trình nghiên cứu của nhiều nhà khoa học trên thế giới đối với vấn đề phân tích và diễn giải các kết quả đo.

# CHƯƠNG I: TỔNG QUAN VỀ MÁY BIẾN ÁP LỰC VÀ QUÁ TRÌNH XUỐNG CẤP CÁCH ĐIỆN TRONG MÁY BIẾN ÁP LỰC

## 1.1. Đặt vấn đề

Máy biến áp (MBA) là một trong những thiết bị quan trọng của hệ thống điện và chúng được lắp đặt trên toàn lãnh thổ, chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố thời tiết, khí hậu, môi trường và tác động của con người.

Yêu cầu làm việc tin cậy, khả năng sẵn sàng hoạt động cao là các yếu tố quan trọng nhất của MBA trong hệ thống điện. Để đảm bảo các yêu cầu này công tác chuẩn đoán, kiểm tra thử nghiệm và bảo dưỡng đóng vai trò rất quan trọng.

Như chúng ta đã biết, ngay sau khi được lắp đặt và đưa vào vận hành sử dụng MBA đã có nguy cơ bị xuống cấp và hư hỏng. Đây là hiện tượng bình thường bởi vì MBA là tập hợp của nhiều chi tiết điện từ, cơ khí, thủy lực, khí nén v.v... được bố trí trong môi trường chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm, mưa gió, bão v.v... Mặt khác, trong quá trình vận hành sử dụng luôn có sự thay đổi về phụ tải, có sự bố trí lại mạng điện hoặc bổ sung thêm thiết bị mà nhiều khi không có sự phối hợp tổng thể của cơ quan nghiên cứu và thiết kế. Cũng cần phải kể đến sự lựa chọn thiết bị không đúng, sự chỉnh định sai các thiết bị đo lường điều khiển, chỉ thị, sự vận hành không đúng quy trình kỹ thuật v.v... Tất cả các yếu tố kể trên gây ảnh hưởng xấu đến sự làm việc bình thường của toàn hệ thống và hậu quả của nó thường là làm cho tuổi thọ của thiết bị điện trong đó có MBA giảm đi đáng kể.

Việc thu thập tài liệu về phương pháp phổ điện môi cũng như hệ thống thiết bị đo theo phương pháp này của các nước tiên tiến trên thế giới để đưa vào áp dụng tại Việt Nam đòi hỏi tốn nhiều công sức, nhiều thời gian. Song thiết nghĩ đó cũng là một việc làm rất cần thiết và bổ ích, đề tài nghiên cứu này áp dụng vào thực tế Hệ thống điện Việt Nam được coi như là lần đầu tiên.

Để đáp ứng sự tăng trưởng của nền kinh tế quốc dân, đòi hỏi ngành điện ngày càng phát triển và phải có hệ thống điện với chất lượng cao. Do đó, việc nghiên cứu ứng dụng những tiến bộ của khoa học công nghệ trong lĩnh vực chuẩn đoán, kiểm tra thử nghiệm và bảo dưỡng để đưa ra những đề xuất phù hợp, phục vụ cho việc kiểm tra thử nghiệm vận hành các MBA lực hợp lý hơn đối với các vùng khí hậu khác nhau, tận dụng khả năng mang tải của chúng và đảm bảo cho MBA vận hành tin cậy an toàn và nâng cao tuổi thọ trong quá trình cung cấp điện. Mặt khác, Việt Nam nằm trong một vùng khí hậu nhiệt đới, các MBA thường đặt ngoài trời nên luôn chịu tác động của môi trường như: mưa, gió, nắng, bão, lụt v.v... và đặc biệt nhiệt độ, độ ẩm thường rất cao. Chính các yếu tố môi trường này cũng góp phần làm tăng nhiệt độ dầu và nhiệt độ cuộn dây của MBA.

Do đó, việc “*nghiên cứu quá trình xuống cấp cách điện máy biến áp điện lực và ứng dụng phương pháp phổ điện môi để chẩn đoán chất lượng cách điện trong máy biến áp*” sẽ nhằm giúp cho các cán bộ kỹ thuật trong lĩnh vực kiểm tra thử nghiệm và bảo dưỡng MBA hiểu rõ hơn bản chất, khả năng làm việc của MBA, từ đó sẽ tìm ra cách vận hành MBA sao cho hợp lý để tận dụng được khả năng tải tối đa trên cơ sở vẫn đảm bảo tuổi thọ của MBA.



Để thực hiện được công việc nghiên cứu trên đối với cách điện MBA trong HTĐ Việt nam, cần phải khảo sát và phân tích về những tác động và ảnh hưởng của môi trường nhiệt đới với những yếu tố khí hậu đặc biệt như độ ẩm và nhiệt độ thay đổi thất thường đến cách điện của MBA ở Việt Nam. Những yếu tố này tác động liên tục làm thay đổi cấu trúc của vật liệu nói chung và vật liệu điện nói riêng, làm sai lệch các chế độ vận hành bình thường, làm hư hỏng dần các thành phần của thiết bị trong hệ thống điện mà đặc biệt là MBA. Vì vậy, trong quá trình nghiên cứu, thiết kế chế tạo cũng như lựa chọn, xây lắp và vận hành MBA phải xét đến những yếu tố khí hậu đặc biệt này. Chỉ trên cơ sở nghiên cứu, phân tích đánh giá đầy đủ các tác động đối với MBA (kể cả các yếu tố của môi trường) mới có thể thiết kế - chế tạo, lựa chọn một cách hợp lý và các giải pháp vận hành đúng đắn, đảm bảo cung cấp điện một cách liên tục và tin cậy cho các công trình công nghiệp và dân dụng.

Những yếu tố cơ bản của thời tiết ảnh hưởng xấu đến thiết bị điện nói chung và MBA nói riêng bao gồm: áp suất không khí, nhiệt độ cao, sự thay đổi đột ngột về nhiệt độ trong một ngày - đêm, cường độ bức xạ của mặt trời, độ ẩm của không khí. Những yếu tố không thuận lợi khác như: sương muối, hơi nước muối biển, khí thải từ các nhà máy công nghiệp, bão xoáy nhiệt đới v.v...

Nhằm đảm bảo các công trình điện nói chung và MBA nói riêng làm việc an toàn và ổn định trong các điều kiện khắc nghiệt nêu trên, trong quá trình chế tạo phải xem xét để thiết bị chịu đựng được tất cả các yếu tố có thể xảy ra trong vùng, hoặc tổng quát hóa các yếu tố của các vùng tương tự để từ đó chế tạo các thiết bị phù hợp.

Theo mức độ tác động đến vật liệu điện và các thiết bị điện, khí hậu nhiệt đới có thể chia ra: khí hậu nhiệt đới ẩm ướt và khô. Ngoài ra khi thiết kế và vận hành các MBA phải xét đến ảnh hưởng của địa lý như vùng núi, vùng biển v.v... Đối với các vùng khí hậu nhiệt đới ẩm ướt đặc điểm chính là mưa rào, dông, bão, sương mù, bụi công nghiệp và các yếu tố sinh học khác. Đối với các vùng khí hậu nhiệt đới khô, đặc điểm chính là: nhiệt độ không khí cao, cường độ bức xạ mặt trời lớn, độ ẩm không cao và thường chênh lệch nhiệt độ trong ngày rất lớn.

## ***1.2. Tác động trực tiếp của môi trường nhiệt đới***

### **1.2.1. Tác động của bức xạ mặt trời**

Tia cực tím làm tăng độ già hóa của các vật liệu điện hữu cơ (TD: cao su) làm giảm thời hạn vận hành của các thiết bị điện. Trong bức xạ mặt trời, trong khí quyển 45% là tia hồng ngoại. Các tia này làm tăng nhiệt độ khí quyển và nhiệt độ trên bề mặt thiết bị điện, bị đốt nóng nhất là lớp không khí ở độ cao 1,5 m so với mặt đất. Các bề mặt của vật liệu điện đối với màu sáng nhiệt độ tăng lên từ 10÷15 °C, màu tối tăng lên từ 25÷30 °C. Nhiệt độ không khí cao là nguyên nhân phá hỏng các kết cấu hóa lý của vật liệu, làm tăng nhanh độ già hóa cách điện của thiết bị điện. Nhiệt độ môi trường tăng thêm lên 10°C so với giá trị trung bình, điện trở cách điện giảm xuống 50%. Đốt nóng thiết bị vượt quá giá trị cho phép sẽ làm tăng (tổn hao điện) góc tgδ. Tổn hao điện môi của cách điện sứ ở 50°C tăng lên 2 lần, ở 80°C tăng lên 4 lần so với đại lượng ở nhiệt độ quy chuẩn 20°C [3]

### 1.2.2. Ảnh hưởng của độ ẩm không khí

Độ ẩm không khí làm tăng sự đọng nước trên bề mặt cách điện. Độ ẩm và nhiệt độ cao làm tăng dòng rò của cách điện (dòng rò qua bề mặt cách điện). Tác động liên tục và lâu dài của độ ẩm làm tăng hằng số điện môi và làm giảm độ bền cách điện. Kết đọng - ẩm - khô lặp lại có thể làm rạn nứt bên trong vật liệu, làm giảm không những các đặc tính về điện mà còn làm suy giảm độ bền cơ của vật liệu và thiết bị điện. Sự ẩm thấp do sương muối làm tăng sự han rỉ các kết cấu kim loại.

### 1.2.3. Ảnh hưởng của khí hậu

Ở các vùng gần biển nhiệt đới thường có độ ẩm cao 90÷95%, có sương mù thường xuyên và trong sương muối biển, mây mù thường lẫn cát và bụi hữu cơ. Trong tầng thấp của khí quyển có nồng độ muối cao, không khí bị nhiễm bẩn muối. Nguồn nhiễm bẩn này có thể hòa tan trong nước và trong đất. Sự lắng đọng của các giọt nước có lẫn muối trên bề mặt cách điện và các thiết bị là mối nguy hiểm đối với quá trình vận hành của các thiết bị điện và cách điện.

Ở các vùng núi có đặc điểm là áp suất khí quyển thấp, có đông và gió mạnh, chênh lệch nhiệt độ trong ngày lớn. Ở đây mật độ không khí phụ thuộc không chỉ áp suất mà còn cả nhiệt độ. Việc giảm áp suất không khí khi tăng độ cao so với mặt biển và tương ứng với nó là giảm mật độ không khí sẽ kéo theo sự giảm điện áp phóng điện chọc thủng cách điện, đặc biệt đối với các loại thiết bị mà cách điện là không khí. Càng ở trên cao so với mặt biển hệ số tương đối của độ bền cách điện khoảng cách khí càng thấp.

<i>Độ cao so với mặt biển (m)</i>	<i>Hệ số độ bền cách điện</i>
1000	1,00
1.200	0,98
1.500	0,95
1.800	0,92
2.000	0,90
2.500	0,85

### 1.3. Ảnh hưởng của độ ẩm đến cách điện của MBA

Sự có mặt của độ ẩm trong MBA làm hỏng cách điện MBA vì sự giảm sút của cả độ bền điện và cơ. Nói chung, độ bền cơ của cách điện bị giảm tới một nửa khi độ ẩm tăng lên gấp đôi [1]; Tốc độ làm hỏng bằng nhiệt và độ ẩm đối với giấy có tỉ lệ như nhau trong suốt quá trình vận hành [2]. Sự phóng điện có thể xảy ra ở nơi có điện áp cao vì sự mất cân bằng độ ẩm dẫn đến điện áp bắt đầu phóng điện cục bộ thấp và cường độ phóng điện cục bộ cao hơn [4]. Sự di chuyển của một số lượng nhỏ hơi nước đã được kết hợp với dòng điện chạy trên bề mặt của giấy/dầu và được đánh giá là có khả năng tích điện cao hơn nhiều so với vùng bề mặt cách điện khô [4; 5]. Thành phần nước ở trong dầu MBA cũng mang đến sự nguy hiểm bởi sự hình thành các tấm sỏi khi phần nước tách ra khỏi phần xenlulô tăng lên tập trung thành các bóng khí ở trong dầu [6]. Do đó, sự mất cân bằng độ ẩm trong hệ

thông cách điện MBA (dầu và giấy) được phát hiện ra là rất quan trọng. Vì vậy, sẽ rất thuận tiện khi biết được đường cong chia cắt độ ẩm giữa dầu và giấy dưới điều kiện cân bằng. Khi MBA đang vận hành ở điều kiện cân bằng, sẽ khảo sát nhanh hơn lượng ẩm trong giấy và đưa ra các dự đoán về sự cố trong tương lai khi đo lượng ẩm trong dầu. Trong những năm trước, nhiều nhà khoa học đã đưa ra các bản báo cáo dưới dạng tập hợp các đường cong, nhưng không có một báo cáo nào xem xét một cách toàn diện và so sánh được với các đường cong khác. Đó là những nghiên cứu trong suốt các thập niên vừa qua và cũng là nguồn tư liệu quan trọng đối với ngành điện cũng như đối với cách điện trong việc kiểm tra chất lượng các thiết bị.

### 1.3.1. Đối với dầu máy biến áp

Thành phần dầu cách điện MBA được tinh lọc từ dầu thô. Quá trình tinh lọc bao gồm xử lý axit, hòa tan, tách paraffin, xử lý nước hoặc là sự phối hợp giữa các phương pháp này tạo ra dầu cách điện đặc trưng. Nó là sự hòa trộn giữa 3 hợp chất hydrocacbon chính: Ankan, naphtalen và các hydrocacbon thơm. Những phần tử này không phân cực hoặc phân cực rất yếu. Sự phân cực và các loại ion cũng chiếm một phần nhỏ, đây có lẽ là phần ảnh hưởng mạnh nhất đến các thuộc tính điện và hóa của dầu. “Các hợp chất phân cực tìm thấy trong dầu MBA thường chứa đựng Oxi, Nitơ hoặc sunfur. Các ion thường ở dạng muối hữu cơ chỉ chiếm một số lượng nhỏ” [7].

Để có cái nhìn hoàn thiện hơn về dầu MBA, sau đây chúng ta sẽ xem xét quá trình xuống cấp của dầu cách điện

### 1.3.2. Ảnh hưởng của oxy trong dầu cách điện

Oxy trong khí quyển và trong nước là nguồn gốc của sự oxy hoá dầu. Tốc độ oxy hoá trong dầu phụ thuộc vào nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng thêm  $10^{\circ}\text{C}$  nói chung tốc độ oxy hoá tăng gấp đôi. Kết quả oxy hoá hình thành axit và chất lắng đọng trong dầu [1].

*Bảng I.1: Các đặc tính của dầu cách điện*

Đặc tính	Dầu mới (IEC 296)		Giới hạn cho phép đối với dầu khi vận hành (IEC 422)			
	Loại 1	Loại 2	$U_{dm} \leq 36\text{kV}$	$36 < U_{dm} \leq 70\text{kV}$	$70 \leq U_{dm} \leq 170\text{kV}$	$170 < U_{dm}$
Tỷ trọng ở $20^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,895$	$\leq 0,895$	-	-	-	-
Độ nhớt động ở: $40^{\circ}\text{C}$ $-15^{\circ}\text{C}$	$\leq 16,5$ $\leq 800$	$\leq 11,0$ -	- -	- -	- -	- -
Điểm chảy, $^{\circ}\text{C}$	$\leq -30$	$\leq -45$	-	-	-	-
Điểm cháy (bình kín), $^{\circ}\text{C}$	$\geq 140$	$\geq 130$	$\geq 115$	$\geq 115$	$\geq 115$	$\geq 115$
Chỉ số trung tính (mg KOH/g)	$\leq 0,03$	$\leq 0,03$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Hàm lượng nước, ppm	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 40$	$\leq 35$	$\leq 30$	$\leq 20$

Độ bền điện, kV - dầu bất kỳ - dầu khô, đã lọc	$\geq 30$ $\geq 70$	$\geq 30$ $\geq 70$	$\geq 30$ -	$\geq 35$ -	$\geq 40$ -	$\geq 50$ -
Hệ số tổn hao ở 50Hz, 90°C - dầu bất kỳ - dầu khô, đã lọc	$\leq 0,005$ -	$\leq 0,05$ -	$\leq 1,5$ -	$\leq 0,8$ -	$\leq 0,3$ -	$\leq 0,2$ -
Ứng suất ở 25°C (mN/m)	$\geq 40$	$\geq 40$	$\geq 10$	$\geq 12$	$\geq 12$	$\geq 20$
Các đặc tính sau thử nghiệm oxy hoá, IEC 74 - Khối lượng chất lắng đọng, % - Chỉ số trung tính (mg KOH/g)	$\leq 0,10$ $\leq 0,40$	$\leq 0,10$ $\leq 0,40$	Nhiệt dung trung bình giữa 25 và 125°C: 0,5 cal/g/°C  Hệ số dẫn nở trung bình giữa 25 và 125°C: $7 \cdot 10^{-4}$ /°C			

*\*Ghi chú: Nói chung dầu loại 2 thích hợp cho xử lạnh*

### 1.3.3. Hàm lượng ẩm trong dầu cách điện

Nước trong dầu thể hiện dưới dạng hoà tan, hạt nhỏ hoặc dưới dạng tự do ở đáy thùng dầu. Để lọc tách nước dưới dạng tự do có thể dùng phương pháp ly tâm. Để tính lượng nước hoà tan trong dầu cần dùng phương pháp sấy chân không [3].

Ảnh hưởng của lượng ẩm đối với tính chất cách điện của dầu phụ thuộc vào dạng ẩm tồn tại trong dầu. Chỉ một lượng nước rất nhỏ có trong dầu làm giảm độ bền cách điện một cách đáng kể. *Bảng I.2* đưa ra hàm lượng ẩm cực đại cho phép đối với dầu. Đơn vị đo là phần triệu (ppm), ví dụ miligam nước trong một kilôgam dầu.

*Bảng I.2: Hàm lượng ẩm cực đại cho phép trong dầu*

Điện áp, [kV]	Hàm lượng ẩm cực đại, [ppm]
5	30
15	30
35	25
69	20
$\geq 138$	15

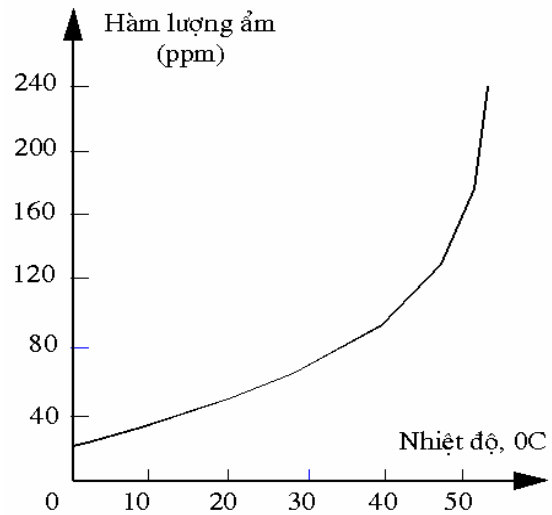
Hàm lượng ẩm tăng nhanh khi nhiệt độ dầu cao. Trên đồ thị *hình I.1* cho thấy sự phụ thuộc của hàm lượng ẩm trong dầu theo nhiệt độ.

Khi mức oxy hoá cao đến điểm tạo chất lắng đọng trong dầu, cần tách lớp lắng đọng bằng hơi áp suất cao hoặc tuần hoàn dầu nóng để làm tan, hoặc xử lý axit. Trong những điều kiện thuận lợi, việc xử lý dầu rẻ hơn việc thay thế dầu mới.

Các chất cách điện như giấy, vải sợi v.v.... rất xốp và hút nước. Một lượng nước tan trong dầu và được hút vào giấy cách điện. Một khi nước đã thấm vào giấy rất khó tách ra. Phương pháp hiệu quả nhất để làm khô cách điện trong MBA là sấy chân không. Đôi khi không đưa lõi MBA vào buồng sấy chân không được ta có thể sấy khô chúng bằng cách cho tuần hoàn dầu nóng và khô, sau đó dầu này lại được làm nguội và sấy khô.

Khi vận hành MBA cũng cần chú ý đặc biệt tới nitơ để tránh tạo bọt trong dầu khi áp suất giảm. Kinh nghiệm cho thấy hệ thống điều chỉnh áp suất phải được điều chỉnh đến giới hạn để tránh bọt khí nitơ có thể gây vàng quang.

Dầu cách điện hay gọi là dầu MBA có một ái lực nhỏ với nước. Tuy nhiên sự hòa tan thường tăng lên rõ rệt theo nhiệt độ đối với dầu MBA. Nước có thể tồn tại trong dầu MBA dưới 3 dạng. Trong các trường hợp thực tế, hầu hết nước chỉ được tìm thấy ở dạng hòa tan. Tuy nhiên điều này lại trái ngược hẳn với các khảo sát về lượng ẩm bằng các công nghệ đo khác nhau trước đây cho rằng nước cùng tồn tại với các phân tử dầu, đặc biệt là trong dầu hỏng. Khi độ ẩm trong dầu vượt quá giá trị bão hòa, các phân tử nước tự do trong dầu sẽ ngưng lại thành giọt hoặc vẩn đục. Độ ẩm trong dầu được đo bằng đơn vị phần triệu (ppm) được xác định bằng khối lượng ẩm chia khối lượng của dầu ( $\mu\text{g/g}$ ).



Hình 1.1: Lượng nước hoà tan cực đại trong dầu theo nhiệt độ

#### a. Độ ẩm tương đối

Độ ẩm tương đối (Relative Humidity) có thể được tính lọc trong giới hạn của tỉ số hòa trộn độ ẩm  $r$  trên tỉ số hòa trộn bão hòa  $r_s$ ,  $R.H.\% = 100r/r_s$ , có tỉ lệ phần trăm không thứ nguyên. Độ ẩm tương đối của không khí là lượng hơi nước chứa trong không khí tại thời điểm bão hòa. Độ ẩm tương đối với dầu là lượng độ ẩm lớn nhất mà dầu có thể chứa được. Bởi vì tỉ số hòa trộn bão hòa là một hàm số của áp suất, nhiệt độ, độ ẩm tương đối là một chỉ số hỗn hợp của môi trường và phản ánh nhiều hơn so với hàm lượng nước [32]

#### b. Giấy

Cách điện rắn của MBA thường được dùng gồm bốn loại như sau: tấm chắn, giấy (hoặc là giấy Kraft), lớp giấy cách điện xenlulô, và xenlulô. Mặc dù trong phạm vi của cách điện MBA riêng biệt, nó vẫn có thể chỉ ra được các phần khác nhau, ví dụ: băng giấy, các trụ giấy, các tấm giấy cách điện xenlulô hình trụ, các đai góc, các khối v.v... trong phạm vi cân bằng độ ẩm, nói chung là tất cả các ý kiến cho rằng sản xuất giấy cách điện từ xenlulose sunfat thô, bao gồm chuỗi dài hoặc ngắn hơn của vòng glucose. Tấm ép được biết đến trong công nghiệp dệt và xử lý giấy đã hơn 100 năm và được dùng trong các loại máy điện đầu tiên. Lớp giấy cách điện xenlulô là kết quả từ sự nỗ lực của Hans Tschudi-Faude của công ty

H.Weidmann, vào cuối những năm 1920 [32], đây là một ứng dụng tốt hơn so với tấm ép để đáp ứng yêu cầu của MBA công suất lớn. Nó được làm từ xenlulose sunfat mức cao và chứa đựng duy nhất các sợi xenlulose nguyên chất mà không có bất kỳ một chất nào khác. Nó có thể được sấy khô hoàn toàn, khử khí, và tẩm dầu. Giấy cách điện có thể được sản xuất với các độ dày, hình dạng và các thuộc tính khác nhau ứng với từng yêu cầu cụ thể.

#### c. Nước trong giấy

Lượng nước ở trong giấy có thể tìm thấy ở 4 trạng thái: nó có thể bám vào bề mặt, ở thể hơi, dạng nước tự do trong ống mao dẫn, và ở dạng hấp thụ nước tự do. Giấy có thể bao gồm nhiều độ ẩm hơn dầu. Ví dụ MBA 40MVA, 110kV với khoảng 3 tấn giấy có thể chứa 113kg nước [34]. Lượng dầu trong MBA kiểu này khoảng 40.000 lít. Giả sử độ ẩm tập trung trong dầu là 20ppm, tổng khối lượng độ ẩm chỉ vào khoảng 2 kg, ít hơn rất nhiều so với giấy. Giá trị độ ẩm tập trung của giấy được biểu thị bằng giá trị %, được tính bằng cách lấy khối lượng độ ẩm chia cho khối lượng tấm ép tẩm dầu khô.

#### d. Áp suất hơi nước

Áp suất hơi nước là áp suất cục bộ do ảnh hưởng của hơi nước. Khi hệ thống đang trong trạng thái cân bằng và nước ở thể lỏng hoặc rắn, hoặc ở cả hai thể, nó có thể lên tới áp suất hơi nước bão hòa. Áp suất hơi bão hòa là một giá trị đo khi vật chất biến đổi thành thể khí hoặc hơi, và nó tăng theo nhiệt độ. Tại điểm sôi của nước, áp suất hơi nước bão hòa tại bề mặt của nước trở nên cân bằng với áp suất khí quyển.

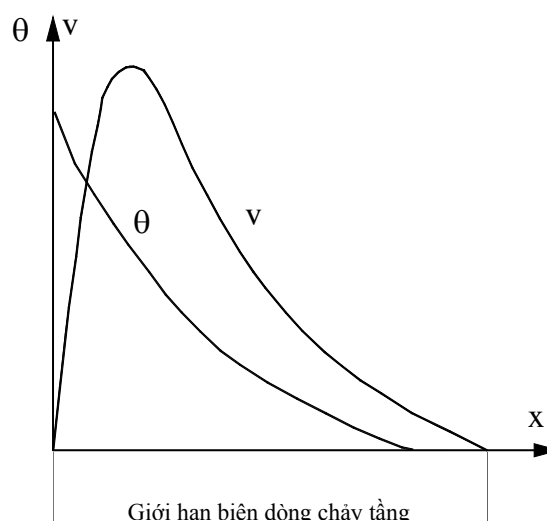
### 1.3.4. Quá trình đối lưu.

Hiện tượng đối lưu xảy ra ở vật thể lỏng và khí. Nhiệt lượng được truyền đi phụ thuộc vào môi trường, độ chênh nhiệt độ và chuyển dịch cường bức xung quanh vật thể [3].

Khi làm mát tự nhiên bằng đối lưu, một lớp của môi trường làm mát bề mặt vật thể bị gia nhiệt trở nên nhẹ hơn và chuyển động lên phía trên. Tốc độ dòng chảy biến đổi từ 0 ở bề mặt đạt tới giá trị cực đại rồi trở lại về 0 “(xem hình I.2)”. Mỗi lớp xảy ra quá trình chuyển động như vừa xét được gọi là một dải của dòng chảy. Bề rộng của dải này ở không khí vào khoảng 12 mm; ở dầu là 3mm. Tốc độ dòng chảy ở không khí không quá 1m/s, ở dầu không quá 1cm/s. Quá trình đó gọi là chảy tầng, các dòng chảy song song với nhau và song song với bề mặt làm mát.

#### a) Tải nhiệt ở môi trường không khí.

Trước tiên xét sự tải nhiệt bằng đối lưu tự nhiên theo mặt thẳng đứng.



Hình I.2- Phân bố độ chênh nhiệt độ tốc độ hoạt động làm mát gần vật thể khi có dòng chảy tầng

Theo Schmidt và Bechman [1] có thể biểu diễn nhiệt lượng truyền tải trong một đơn vị thời gian theo đơn vị diện tích mặt thẳng đứng dưới dạng:

$$q_k = C \frac{\sqrt{\delta}}{\sqrt[4]{t_{ao} \cdot H}} \cdot \theta^{1,25} \quad (I.1)$$

Trong đó:  $\delta$  - mật độ tương đối của không khí  
 $\theta$  - chênh lệch nhiệt độ trung bình của vật gia nhiệt và không khí  
 $t_{ao}$  - nhiệt độ môi trường xung quanh (nhiệt độ tuyệt đối  $^0K$ ),  
 $t_{ao} = 273 + t_0$  tính theo  $[^0K]$   
 $H$  - chiều cao mặt làm mát,  $[m]$   
 $q_k$  tính theo  $[W/m^2]$ ;  
 $C = 10$ .

Ta có:

$$q_k = 10 \cdot \frac{\sqrt{\delta}}{\sqrt[4]{(273 + t_0)H}} \cdot \theta^{1,25} \quad (I.2)$$

Với giá trị  $t_0$  thường gặp ta có:

$$q_k \approx 2,46 \left(1 - 9,2 \cdot 10^{-4} t_0\right) \cdot \frac{\sqrt{\delta}}{\sqrt[4]{H}} \cdot \theta^{1,25} \quad (I.3)$$

Thay đổi  $t_0$  khoảng  $10^0C$ , giá trị  $q_k$  thay đổi cỡ 1%

Mật độ tương đối của không khí  $\delta$  được tính gần đúng như sau:

$$\delta = \frac{16 - h}{16 + h} ;$$

Với:  $h$  là chiều cao so với mặt biển ở vị trí đặt MBA, tính theo  $[km]$ . Công thức này chỉ đúng khi  $h \leq 6 km$ , ở độ cao càng lớn, không khí càng loãng, dẫn nhiệt kém. Những MBA đặt ở độ cao  $h \geq 1000 m$  phải lưu ý hơn về làm mát.

Trong thực tế  $H > 1 m$  dòng bắt đầu chảy rối; khi đó chiều cao bề mặt làm mát không còn vai trò làm mát. Bỏ qua phần cao  $H \geq 1 m$ , gần đúng lấy  $\sqrt[4]{H} \approx 1$ . Theo (I.1c) nhiệt độ môi trường  $t_0 = 20^0C$  và  $\sqrt{\delta} = 1$ ;  $\sqrt[4]{H} = 1$ , nhiệt truyền trên đơn vị diện tích,  $[W/m^2]$  là:

$$q_k = 2,42 \cdot \theta^{1,25} \quad (I.4)$$

Công thức (I.4) sử dụng khi tính gần đúng.

Chia hai vế của phương trình (I.3) cho  $\theta$  ta được hệ số truyền nhiệt bằng đối lưu,  $[W/m^2 \cdot ^0C]$ :

$$\alpha_k = \frac{q_k}{\theta} = 2,46 \left( 1 - 9,2 \cdot 10^{-4} \cdot t_0 \right) \frac{\sqrt{\theta}}{\sqrt[4]{H}} \cdot \theta^{0,25} \quad (I.5)$$

Khi tính gần đúng ta có:

$$\alpha_k = \frac{q_k}{\theta} = 2,42 \cdot \theta^{0,25} \quad (I.6)$$

Giá trị  $\alpha_k$  tăng tỷ lệ với căn bậc bốn của độ chênh nhiệt  $\theta$ .

*Bảng I.3- Thống kê các giá trị  $q_k$  và  $\alpha_k$  đối lưu tự nhiên, theo công thức (I.4) và (I.2b).*

$t_0 \approx 20^\circ C; \sqrt{\delta} \approx 1; \sqrt[4]{H} \approx 1$

$\theta$	$^\circ C$	20	30	40	50	60	75
$q_k$	$[W/m^2]$	103	170	244	320	402	533
$\alpha_k$	$[W/m^2 \cdot ^\circ C]$	5,15	5,67	6,1	6,4	6,7	7,11

Như vậy lượng nhiệt tải từ mặt phẳng  $S_k$  ở độ chênh nhiệt độ trung bình  $\theta$  giữa vật gia nhiệt và dòng khí có thể được biểu diễn:

$$\Delta P_k = S_k \cdot q_k = S_k \cdot \alpha_k \cdot \theta = S_k \cdot \alpha_{k0} \left( \frac{\theta}{\theta_0} \right)^{0,25} \cdot \theta \quad (I.7)$$

$$\text{Trong đó: } \alpha_k = \alpha_{k0} \left( \frac{\theta}{\theta_0} \right)^{0,25}$$

$\alpha_{k0}$  - hệ số truyền nhiệt tương ứng với chênh nhiệt độ  $\theta_0$ , ví dụ ứng với chênh nhiệt độ khi các thông số là định mức.

Trường hợp bề mặt làm mát không phẳng, lượng nhiệt truyền tải bằng không khí nhỏ hơn khi mặt làm mát phẳng. Mức độ làm giảm khả năng truyền nhiệt được xác định bằng thực nghiệm.

Công thức (I.4) có thể viết dưới dạng:

$$\theta = \left( \frac{q_k}{2,42} \right)^{0,8} = 0,494 \cdot q_k^{0,8} \quad (I.8)$$

Khi truyền nhiệt bằng đối lưu tự nhiên trong không khí, thay đổi nhiệt độ  $\theta$  chậm hơn tổn thất nhiệt.

Người ta có thể tăng cường truyền nhiệt bằng cách thổi gió cưỡng bức vào bề mặt gia nhiệt.



Biết dòng khí dọc bề mặt thẳng đứng (từ dưới lên trên) có tốc độ  $v$ , hệ số truyền nhiệt  $\alpha_k$  được tính bằng công thức sau:

$$\begin{aligned} & \text{- Khi } v \leq 5 \text{ m/s ; } t_k = 50^\circ\text{C} \\ & \alpha_k \leq 26,5 \text{ [W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C]} \end{aligned} \quad (\text{I.9})$$

$$\text{- Khi } v > 5 \text{ m/s ; } t_k = 20 \div 100^\circ\text{C}$$

$$\alpha_k = \left( 6,13 - \frac{t_k - 50}{98} \right) \cdot v^{0,78} \cdot \frac{1}{H^{0,22}} \quad (\text{I.10})$$

Trong đó:

$t_k = \frac{1}{2}(t_s + t_{kk})$  - giá trị trung bình nhiệt độ mặt làm mát ( $t_s$ ) và nhiệt độ không khí ( $t_{kk}$ ), [ $^\circ\text{C}$ ]

$H$  - chiều cao mặt làm mát, [m]

$\alpha_k$  - hệ số truyền nhiệt, [ $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

#### b) Tải nhiệt bằng dầu

Xét dây quấn và lõi thép MBA ngâm trong dầu. Việc truyền nhiệt bằng dầu phức tạp hơn qua môi trường không khí. Nguyên nhân do dạng bề mặt làm mát khúc khuỷu, dầu không tiếp cận đồng thời mặt được làm mát.

Hệ số truyền nhiệt của dầu sang vách thẳng đứng hoặc theo chiều ngược lại là:

$$\alpha_k = 38 \cdot \sqrt[4]{\theta} \cdot \sqrt{\frac{t_{tb}}{50}} \quad (\text{I.11})$$

Trong đó:

$\theta$  - chênh nhiệt độ bề mặt gia nhiệt và dầu làm mát.

$t_{tb}$  - nhiệt độ trung bình bề mặt được làm mát.

Thí dụ:  $\theta = 20^\circ\text{C}$  - độ tăng nhiệt trung bình bề mặt dây quấn so với dầu;

$\theta_{01} = 48^\circ\text{C}$  - độ tăng nhiệt của dầu;  $t_0 = 25^\circ\text{C}$

thì  $t_{tb} = 20 + 48 + 25 = 93^\circ\text{C}$

$$\alpha_k = 38 \cdot \sqrt[4]{20} \cdot \sqrt{\frac{93}{50}} \approx 110 \text{ [W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C]}$$

Do  $\alpha_k = \frac{q_k}{\theta}$ , ta có  $q_k = \alpha_k \cdot \theta$ . Phương trình (I.11) có thể viết dưới dạng:

$$q_k = \alpha_k \cdot \theta = 38 \cdot \theta^{1,25} \cdot \sqrt{\frac{t_{tb}}{50}} \quad (I.12)$$

So sánh phương trình này với phương trình (I.3) hoặc (I.8), ta thấy độ tăng nhiệt tỷ lệ với tổn hao nhiệt theo số mũ 0,8.

Giá trị  $\alpha_k$  và  $q_k$  tra từ đường cong sẽ lớn hơn tính theo (I.11) và (I.12).

Trường hợp chung thường lấy  $\alpha_k = 100 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Trường hợp mặt cần làm mát nằm ngang, như khe hở hướng kính giữa bánh dây, thường lấy  $\alpha_k$  lớn nhất bằng 50% giá trị mặt thẳng đứng.

Trường hợp bơm cưỡng bức dòng dầu, điều kiện làm mát tốt hơn, có thể tăng lên 20 ÷ 30 % so với làm mát tự nhiên, hoặc trường hợp tăng cường còn lớn hơn.

Để tính sự tăng nhiệt dây quấn so với dầu thường sử dụng hai cách:

1. Xác định các giá trị khác nhau  $\alpha_k$  của mặt thẳng đứng và mặt nằm ngang.

2. Chấp nhận giả thiết trị số trung bình của hai loại mặt làm mát:

55 ÷ 65  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (nếu làm mát tự nhiên); và 70 ÷ 80  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (nếu làm mát cưỡng bức).

### 1.3.5. Quá trình bức xạ

Công suất bức xạ của một đơn vị bề mặt gia nhiệt tính theo công thức Stefan - Boltzman:

$$q_{bx} = k \cdot v \cdot (t_{a1}^4 - t_{a2}^4) \quad (I.13)$$

Trong đó:

$t_{a1}$ ,  $t_{a2}$  - nhiệt độ tuyệt đối của vật nóng và môi trường xung quanh.

$k$  - hằng số bức xạ của vật đen tuyệt đối.

$v$  - hệ số bức xạ tương đối, bằng tỷ lệ nhiệt phát ra từ vật thể đang xét với lượng nhiệt phát ra từ vật đen tuyệt đối (cùng kích thước, cùng nhiệt độ, cùng môi trường). Trị số  $v$  phụ thuộc vào loại vật thể, bề mặt vật thể (độ bóng).

Bảng I.4- Thống kê hệ số bức xạ tương đối  $v$  của một số vật liệu

Vật liệu	$v$	Vật liệu	$v$
Nhôm sulfat	0,08	Sơn nhôm	0,55
Đồng không ôxy hóa	0,15	Cách điện giấy và sơn	0,9
Đồng thau (mờ)	0,21	Sơn dùng sơn vỏ MBA	0,8 ÷ 0,9
Đồng ôxy hóa	0,6	Bồ hóng	0,95
Sắt ôxy hóa	0,7		

Công thức (I.13) giả thiết là bề mặt bức xạ của vật nhỏ hơn bề mặt của các vật thể gần đó, có thể phản bức xạ. Khi  $q$  tính theo  $W/m^2$ ,  $t_{a1}$ ,  $t_{a2}$  tính theo  $^0K$ , hằng số  $k = 5,77 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot ^0K^4$ , điền vào công thức (I.13) ta có:

$$q_{bx} = 5,77v \cdot \left[ \left( \frac{t_{a1}}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{a2}}{100} \right)^4 \right] \quad (I.14a)$$

Khi chênh lệch nhiệt độ  $\theta = t_{a1} - t_{a2} = 75 ^0C$ , ta có thể viết (I.14a) dưới dạng:

$$q_{bx} = 2,38 \cdot v \cdot \theta^{1,25} \cdot (1 + 0,011 t_0) \quad (I.14b)$$

$t_0$  - nhiệt độ môi trường, [ $^0C$ ]

$\theta$  - chênh nhiệt độ vật được làm mát và môi trường, [ $^0C$ ].

$q_{bx}$  - công suất bức xạ của một đơn vị diện tích bề mặt nung nóng, [ $W/m^2$ ].

Chia (I.14a) cho độ chênh nhiệt độ  $\theta$  ta được hệ số đặc trưng cho tải nhiệt bằng bức xạ gọi là hệ số truyền nhiệt bức xạ:

$$\alpha_{bx} = 5,77v \frac{\left[ \left( t_{a1}/100 \right)^4 - \left( t_{a2}/100 \right)^4 \right]}{\theta} \quad (I.15a)$$

Ứng với công thức đơn giản:

$$\alpha_{bx} = 2,38v \cdot \theta^{0,25} (1 + 0,011 t_0) \quad (I.15b)$$

Đường cong ở hình I.3 biểu diễn quan hệ

$\alpha_{bx} = f(\theta)$  khi  $v = 0,87$ ;  $t_0 = 20 ^0C$ , theo công thức (I.15a).

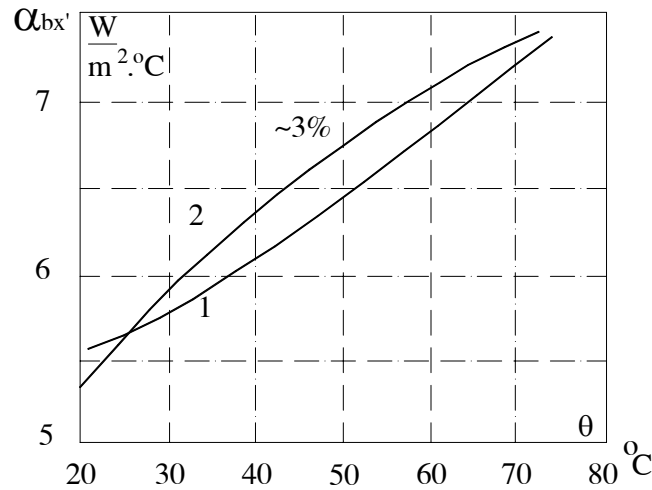
Công thức (I.15b) chính xác trong khoảng  $\theta = 25 \div 75 ^0C$ , điều kiện này trùng với khoảng làm việc của MBA. Bảng I.5 thống kê giá trị  $\alpha_{tx}$  và  $q_{bx}$  khi thay đổi giá trị  $\theta$  cũng như giá trị  $t_0$  (theo công thức đơn giản).

Bảng I.5- Hệ số đặc trưng truyền nhiệt bức xạ ( $v = 0,87$ ) theo công thức (I.14b) và (I.15b)

Độ tăng nhiệt $\theta$ [ $^0C$ ]	$q_{bx}$ $\alpha_{bx}$	Đơn vị	Nhiệt độ môi trường $t_0$ [ $^0C$ ]					
			- 10	0	+10	+ 20	+ 30	+ 40
30	$q_{bx}$	$W/m^2$	129	145	161	177	193	209
	$\alpha_{bx}$	$W/m^2 \cdot ^0C$	4,3	4,85	5,58	5,91	6,43	6,96
40	$q_{bx}$	$W/m^2$	185	209	232	254	277	299
	$\alpha_{bx}$	$W/m^2 \cdot ^0C$	4,63	5,22	5,79	6,35	6,92	7,49
50	$q_{bx}$	$W/m^2$	244	275	305	334	365	396

	$\alpha_{bx}$	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	4,88	5,5	6,1	6,68	7,3	7,92
60	$q_{bx}$	$W/m^2$	306	346	383	420	459	496
	$\alpha_{bx}$	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	5,1	5,76	6,38	7,0	7,64	8,29
75	$q_{bx}$	$W/m^2$	405	458	506	557	608	655
	$\alpha_{bx}$	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	5,4	6,1	6,75	7,42	8,1	8,75

So sánh bảng (I.4) và (I.5), ta thấy các hệ số đặc trưng cho đối lưu và bức xạ nhiệt là giống nhau, chỉ khác nhau ở cách tính diện tích bề mặt. Đối với đối lưu, diện tích bề mặt tính ứng với toàn thể bề mặt làm mát của vật thể; đối với bức xạ chỉ tính với bề mặt bao của nó. Ví dụ, vỏ thùng dầu hình spheroid diện tích bề mặt đối lưu  $S_k$  tính cho toàn thể diện tích mặt spheroid của vỏ, ngược lại diện tích ứng với bức xạ nhiệt  $S_{bx}$ , bằng tích chiều cao với chiều dài chu vi chúng. Tỷ lệ  $S_{bx}/S_k$  càng nhỏ, truyền nhiệt đối lưu càng mạnh.



Hình I.3: Quan hệ giữa hệ số đặc trưng cho truyền nhiệt bức xạ  $\alpha_{bx}$  và độ chênh nhiệt độ trung bình  $q$  giữa môi trường và vật gia nhiệt 1. Tính theo công thức (I.11a);  
2. Tính theo công thức (I.11b) Cả 2 trường hợp  $t_0=20^\circ C$ ;  $n=0,87$

Công suất truyền nhiệt từ vật thể ra môi trường có thể biểu diễn dưới dạng:

$$\Delta P_{bx} = S_{bx} \cdot q_{bx} = S_{bx} \cdot \alpha_{bx} \cdot \theta = S_{bx} \cdot \alpha_{bx0} \cdot \left( \frac{\theta}{\theta_0} \right)^{0,25} \cdot \theta \quad (I.16)$$

$$\text{Trong đó: } \alpha_{bx} = \alpha_{bx0} \cdot \left( \frac{\theta}{\theta_0} \right)^{0,25}$$

Với  $\alpha_{bx0}$  - hệ số tải nhiệt tương ứng với độ tăng nhiệt  $\theta_0$ , như nhiệt độ khi tải định mức.

### 1.3.6. Quy luật già cỗi cách điện

Để xem xét khả năng tải của MBA trong những điều kiện nhất định, cần phải xác định nhiệt độ có thể đạt tới của dầu và của cuộn dây cũng như sự già cỗi cách điện.

Các chất cách điện sử dụng trong chế tạo MBA như giấy, các tông, bakêlit, gỗ và dầu v.v... do tác nhân nhiệt độ, oxy, độ ẩm làm thay đổi đặc tính cách điện của nó theo thời gian. Các vật liệu khác nhau cũng gây ảnh hưởng lẫn nhau, ví dụ các sản phẩm do giấy phân huỷ làm ảnh hưởng đến đặc tính của dầu cách điện. Năm 1930, nhà khoa học Mỹ Montsinger đã đưa ra kết luận về quy tắc  $8^0\text{C}$ , nghĩa là khi nhiệt độ thay đổi  $8^0\text{C}$  thì hao mòn tương đối của cách điện và thời gian phục vụ tương ứng của nó cũng thay đổi 2 lần [2]. Ta có thể biểu diễn quy tắc  $8^0\text{C}$  của Montsinger theo công thức:

$$t = t_0 \cdot 2^{-\Delta\theta/8} \quad (\text{I.17})$$

Trong đó:

t- thời gian phục vụ tính bằng năm;

$t_0$ - hằng số ứng với thời gian phục vụ bình thường tính bằng năm;

$\Delta\theta$ - độ chênh nhiệt độ so với nhiệt độ bình thường,  $\Delta\theta=98^0 - \theta$ .

Khi nhiệt độ của cách điện bị nâng cao sẽ dẫn đến giảm độ bền cơ và điện của nó. Khi đó người ta nói cách điện bị già cỗi đi. Tuổi thọ trung bình của nhóm cách điện A phụ thuộc vào sự thay đổi nhiệt độ (từ  $80^0\text{C} \div 140^0\text{C}$ ) có thể được biểu diễn như sau:

$$Z = A \cdot e^{-av} \quad (\text{I.18})$$

Trong đó:

A và a- các hệ số phụ thuộc vào chất cách điện và cấu tạo MBA.

v - nhiệt độ điểm nóng nhất của cách điện, [ $^0\text{C}$ ].

Tuổi thọ của vật liệu cách điện ứng với nhiệt độ định mức ( $+ 98^0\text{C}$ ).

$$Z_{dm} = A \cdot e^{-av_{dm}} \quad (\text{I.19})$$

Tuổi thọ tương đối của cách điện được định nghĩa:

$$Z_* = \frac{Z}{Z_{dm}} = e^{-a(v-v_{dm})} \quad (\text{I.20})$$

Đại lượng tỷ lệ nghịch với tuổi thọ tương đối gọi là hao mòn cách điện tương đối:

$$L = \frac{Z_{dm}}{Z} = e^{a(v-v_{dm})} \quad (I.21)$$

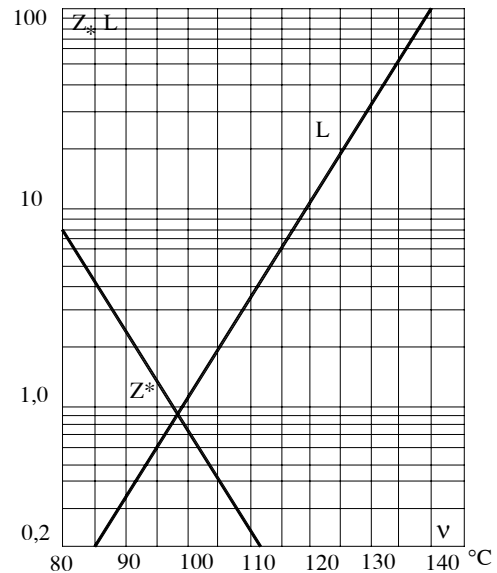
Để thuận tiện trong tính toán người ta không dùng cơ số e mà dùng cơ số 2. Do đó biểu thức xác định hao mòn cách điện tương đối có thể viết:

$$L = 2^{a(v_{dm})} / 0,693 = 2^{(v_{dm})} / \Delta \quad (I.22)$$

Trong đó:  $\Delta = 0,693/a$

$$1/0,693 = \ln e / \ln 2.$$

Hằng số  $\Delta$  được chọn là 6<sup>0</sup>C. Điều đó có nghĩa là mỗi khi nhiệt độ thay đổi 6<sup>0</sup>C thì hao mòn tương đối và thời gian phục vụ tương ứng của cách điện cũng thay đổi 2 lần. Sự phụ thuộc này gọi là quy tắc sáu độ. Khi nhiệt độ bằng 98<sup>0</sup>C thì hao mòn cách điện bằng 1, tức là đúng bằng hao mòn cách điện định mức. Nhiều nhà nghiên cứu đã phát triển công trình của Montsinger. Fabre đưa ra tiêu chuẩn hoá học về mức polyme hoá của xenlulô có liên quan đến độ bền cơ học của xenlulô, cho phép dễ dàng nghiên cứu ảnh hưởng của sự già cỗi cách điện, theo đó các phần tử xenlulô bị phá vỡ do tác nhân hoá học. Cách điện xenlulô vẫn còn giữ các đặc tính điện môi đến giới hạn nhiệt độ thấp hơn quy tắc 8<sup>0</sup>C của Montsinger. Giấy mới có mức polyme hoá khoảng 1300 và trở nên mùn khi mức polyme hoá giảm xuống 150. Sử dụng giá trị này như giới hạn thời gian phục vụ của giấy, Fabre nhận được hằng số 5,5<sup>0</sup>C. Năm 1961, nhóm chuyên gia MBA của CIGRE và sau đó công bố IEC 1972 đưa ra “quy tắc 6<sup>0</sup>C” như một chỉ dẫn áp dụng cho MBA. Arrhenius đưa ra quy luật xác định tốc độ phản ứng hóa học:



Hình I.4: Sự phụ thuộc của tuổi thọ tương đối và sự hao mòn cách điện tương đối của MBA vào nhiệt độ cuộn dây

$$t = A.e^{-T/B} \quad (I.23)$$

Trong đó:

t- thời gian cần thiết cho phản ứng hoá học ở nhiệt độ tuyệt đối;

T, A và B – là các hằng số.

Công thức trên đúng trong khoảng nhiệt độ từ 80<sup>0</sup>C đến 130<sup>0</sup>C. Ngoài 140<sup>0</sup>C các phản ứng mới làm phân hủy xenlulô.

Sự phụ thuộc giữa tuổi thọ tương đối và hao mòn cách điện tương đối của cách điện loại A với nhiệt độ được biểu diễn trên hình I.4.

Tích của hao mòn cách điện tương đối và thời gian xác định hao mòn cách điện (giờ, ngày, tháng, năm) trong khoảng thời gian đó:

$$H = L.T \quad (I.24)$$

Trong đó: L- hao mòn cách điện tương đối;

T- thời gian để xác định hao mòn cách điện

Nếu nhiệt độ không cố định, hao mòn cách điện được xác định bằng tích phân sau:

$$H = \int_0^T L.dt = \int_0^T 2^{(v_t-98)/6} dt \quad (I.25)$$

Trong tính toán gần đúng người ta thay thế bằng phép cộng. Phân chia biểu đồ nhiệt độ cuộn dây thành nhiều phần, trong phạm vi của mỗi phần có thể xem nhiệt độ là không đổi và dựa theo biểu thức (I.22) hay đồ thị trên hình I.4 để xác định hao mòn tương đối ứng với mỗi phần. Như vậy hao mòn sau thời gian T sẽ bằng:

$$H = \sum_{i=1}^n L_i t_i \quad (I.26)$$

Khi nhiệt độ của cách điện nhỏ hơn 80<sup>0</sup>C, hao mòn cách điện tương đối rất nhỏ và có thể xem như bằng 0.

Hao mòn cách điện trung bình sau một ngày đêm có thể xác định như sau:

$$L_{ngay} = \frac{H_{ngay}}{24} \quad (I.27)$$

Hao mòn cách điện trong một năm bằng tổng hao mòn cách điện của các ngày trong năm.

Thời hạn phục vụ của MBA là thời gian kể từ lúc nó bắt đầu làm việc cho đến khi cách điện bị huỷ hoại hoàn toàn. Đối với MBA do Liên Xô (cũ) chế tạo, thời hạn phục vụ của nó được quy định từ 20÷25 năm ứng với nhiệt độ định mức của môi trường làm mát  $\theta_o = 20^0C$  và nhiệt độ điểm nóng nhất của cuộn dây trong điều kiện định mức là 98<sup>0</sup>C.

Thực tế nhiệt độ của môi trường không phải lúc nào cũng bằng 20<sup>0</sup>C mà thường thấp (vào mùa Đông) hoặc có khi cao hơn (vào mùa Hè). Ngoài ra phụ tải của MBA luôn thay đổi hàng ngày, hàng năm; trong đó, số ngày có thể lớn hơn định mức. Vì vậy, trong vận hành có thể cho MBA làm việc với phụ tải lớn hơn

định mức một lượng nào đó nghĩa là cho MBA được quá tải mà thời hạn phục vụ của nó không giảm đi.

### 1.3.7. Quá trình lão hóa cách điện

Tiêu chuẩn IEC-76 về MBA điện lực quy định nhiệt độ phát nóng cho phép của nhiệt độ cực đại của dầu (không khí hoặc nước), phát nóng của dây quấn, của mạch từ. Các vật liệu cách điện thể rắn chia làm 7 cấp với nhiệt độ cho phép như trong bảng I.6

*Bảng I.6: nhiệt độ cho phép theo cấp cách điện*

Cấp cách điện	Y	A	E	B	F	H	C
Nhiệt độ giới hạn ( $^{\circ}\text{C}$ )	90	105	120	130	155	180	>180

Các MBA khô thường sử dụng cách điện cấp B và H: sợi thủy tinh, amiăng, mica hoặc epoxy.

Các MBA dầu thường sử dụng vật liệu cấp A có nguồn gốc sợi tự nhiên (sợi bông, gỗ) hoặc sợi nhân tạo xenlulô axetat, polyamit ...

Các vật liệu này có các đặc tính tốt về cơ, điện, nhiệt.

Khi MBA vận hành, dòng điện chạy trong dây quấn của MBA khi đó từ trường trong lõi thép sẽ sinh ra các tổn hao công suất và biến thành nhiệt làm nóng các chi tiết của MBA.

Sự tăng nhiệt này làm giảm khả năng sử dụng vật liệu tác dụng. Khi tăng nhiệt độ thì vật liệu cách điện bị lão hóa. Vật liệu cách điện thường gặp ở MBA là các loại giấy, bìa, bakêlit, vải sợi, dầu MBA, các loại sơn, nói chung là vật liệu cấp A và B. Đối với các loại cách điện này người ta nhận thấy tăng nhiệt độ lên  $8^{\circ}\text{C}$  với vật liệu cấp A và  $12^{\circ}\text{C}$  với vật liệu cấp B thì tuổi thọ của vật liệu cách điện giảm đi một nửa. Để vận hành hợp lý MBA có quy định nhiệt độ cho phép lớn nhất. Bảng I.7 giới thiệu các tiêu chuẩn Quốc tế về độ tăng nhiệt của MBA [1].

*Bảng I.7- Tiêu chuẩn độ tăng nhiệt độ cho phép của MBA  
(địa điểm lắp đặt máy có chiều cao  $\leq 1000\text{ m}$ )*

Thông số nhiệt độ môi trường và độ tăng nhiệt cho phép		Theo tiêu chuẩn									
		Ba Lan PN-56/E-06040	Quốc tế IEC 76/1967	Nga GOST/401-91	Đức VDE-0532/G 64	Tiếp Khắc (cũ) CSN351000	Anh-SSI 71/1959	Pháp - UTE	Mỹ - ASAC57.1200	Thụy Điển - SEN	TCVN - 6306-1/1997
Nhiệt độ	Nhiệt độ môi trường (max)	35	40	35	35	40	40	40	40	35	40



môi trường làm mát	Nhiệt độ trung bình tháng nóng nhất	25	30	-	25	30	35	30	30	-	30
	Nhiệt độ trung bình của năm nóng nhất	15	20	-	20	20	-	-	-	-	20
	Nhiệt độ nước làm mát cực đại (max)	25	25	25	25	25	25	25	30	25	25
Nhiệt độ tăng cao của dây quấn so với môi trường	Dầu làm mát tự nhiên (ON...)	70	65	70	70	65	60	60	55	60	65
	Dầu làm mát cưỡng bức (OD...)	70	65	70	70	65	65*	65	55	60	70
Nhiệt độ tăng cao của dầu ở lớp trên cùng so với môi trường.	Dầu trong máy không tiếp xúc với không khí.	60	60	60	60	60	50	55	55	50	60
	Dầu trong máy tiếp xúc với không khí.	60	55	60	60	55	50	50	50	50	60

\* Làm mát bằng nước, cho phép 70 °C

\* Nếu địa điểm lắp đặt máy cao hơn 1000 m, thì độ tăng nhiệt cho phép giảm xuống:

- Máy biến áp làm mát tự nhiên (... AN), giới hạn nhiệt độ tăng trung bình của cuộn dây sẽ giảm đi 1 °C cho mỗi khoảng 400m khi độ cao của địa điểm lắp đặt vượt qua 1000m.

- Đối với MBA làm mát cưỡng bức (... AF) thì cứ 250 m giảm đi 1 °C.

\* Tiêu chuẩn ở bảng I.4 có hiệu lực cho MBA có cách điện cấp A, ngâm trong dầu mỏ hoặc dầu tổng hợp có điểm cháy ≤ 300 °C. Nếu cách điện cấp cao hơn, dầu tổng hợp ít cháy hơn thì phải có sự thỏa thuận.

Trên đây là tổng quan về những tác động và ảnh hưởng của môi trường nhiệt đới và độ ẩm đến cách điện của MBA lực.

## CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ ỨNG DỤNG CỦA PHƯƠNG PHÁP ĐO SỰ HỒI PHỤC ĐIỆN MÔI

### 2.1 Đáp ứng điện môi dưới tác động điện trường trong miền thời gian

Những công thức Maxwell, mô tả hiện tượng điện từ, là cơ sở hình thành công thức toán học về phản ứng điện từ của cách điện.

$$\nabla \cdot D = \rho$$

$$\nabla \times H = j + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

Trong đó,  $D$  - là độ dịch chuyển điện môi,  $\rho$  - mật độ điện tích tự do,  $H$  - từ trường,  $j$  - mật độ dòng điện ohmic,  $E$  điện trường và  $B$  là mật độ dòng từ trường tương ứng. Tuy nhiên, những chất điện môi được nghiên cứu ở đây giả định độ từ hoá bằng 0. Do vậy, tiếp theo sẽ không đề cập đến thành phần từ trường.

Việc thêm vào những công thức Maxwell,  $D$  và  $E$  có mối tương quan bởi đặc tính bên trong của vật liệu cách điện.

$$D = \varepsilon_0 E + P \quad (2.2)$$

Trong đó:  $\varepsilon_0$  - độ thẩm thấu không gian tự do và  $P$  là véc tơ phân cực phụ thuộc vào bản chất của vật liệu. Những chất cách điện được xem xét ở đây được giả thiết là có tính chất giống nhau, cùng loại và phi tuyến. Chúng cho phép áp dụng các công thức trên mà không phải xem xét các phản ứng điện từ của vật liệu.

Độ dịch chuyển điện môi  $D$  thường tuyến tính với điện trường  $E$ . Do vậy,  $D$  và  $E$  được coi là liên quan lẫn nhau khi sử dụng hằng số tỷ lệ độ thẩm thấu tương đối  $\varepsilon_r$ .

$$D = \varepsilon_r \varepsilon_0 E \quad (2.3)$$

Ngoài ra, kết hợp (2.2) và (2.3)  $P$  và  $E$  có mối tương quan như sau,:

$$P = \varepsilon_0 (\varepsilon_r - 1) E = \chi \varepsilon_0 E \quad (2.4)$$

$\chi$  là độ nhạy cảm điện môi của vật liệu.

bằng cách như trên, kết hợp (2.1) và (2.2) cho ta:

$$J = \sigma E + \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial t} \quad (2.5)$$

Ở đây,  $J$  là tổng số mật độ dòng do nguồn điện từ trường và  $\sigma$  là độ dẫn của vật liệu. Công thức (2.5) cho thấy sự đóng góp của phân cực đối với tổng dòng qua cách điện.

Các dạng phân cực:

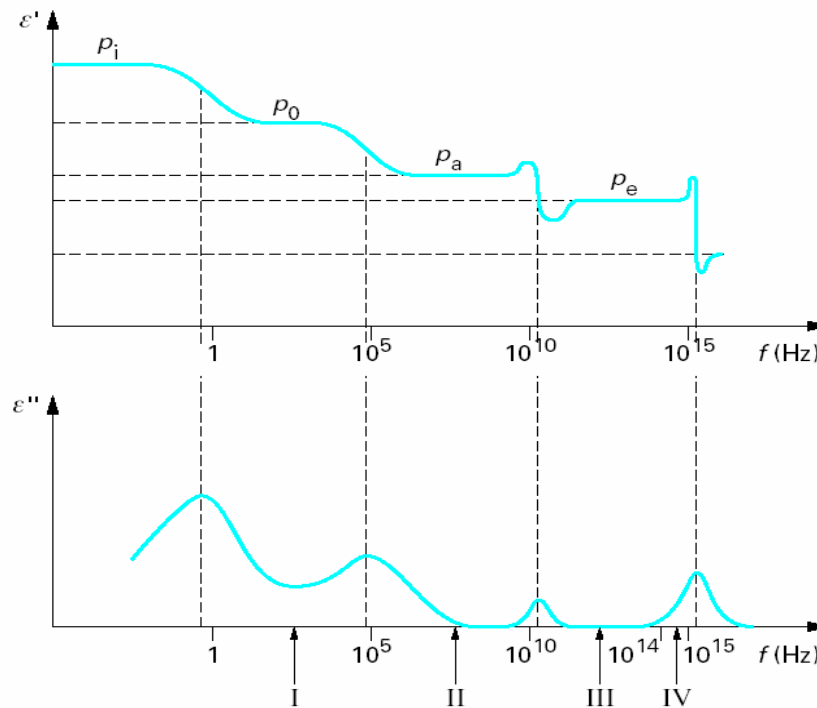
Sự phân cực điện môi được quan sát trong các thành phần có chứa các điện tích như điện tử, nguyên tử, phân tử, các mạch đại phân tử và các điện tích xuất hiện các mặt tiếp giáp hay được sinh ra do các khuyết tật trong vật liệu không đồng nhất. Các dạng phân cực có thể được nhận biết theo khả năng phân cực của từng thành phần:

1. Phân cực điện tử: sinh ra do sự dịch chuyển đàn hồi và sự biến dạng các lớp vỏ điện tử của phân tử dưới tác dụng của điện trường bên ngoài. Thời gian xác lập phân cực điện tử xảy ra cực nhanh ( $\sim 10^{-15}$ s) và kéo theo ánh sáng phát ra.

2. Phân cực nguyên tử: tương ứng với sự chuyển dịch của các nguyên tử hay nhóm các nguyên tử trong phân tử dưới ảnh hưởng của điện trường bên ngoài. Hiện tượng này cũng rất nhanh để đạt được trạng thái cân bằng ( $\sim 10^{-12}$  -  $10^{-13}$ s).

3. Phân cực định hướng (hay lưỡng cực): Sự phân cực này miêu tả chung cho những thành phần tồn tại moment lưỡng cực như phân tử, nhóm phân tử hay đại phân tử. Những lưỡng cực này có xu hướng quay theo chiều của điện trường tác dụng, thời gian thiết lập sự phân cực này lớn hơn nhiều so với hai phân cực trước và nằm trong một dải rộng từ  $10^{-9}$  –  $10^3$ s tùy theo dạng lưỡng cực.

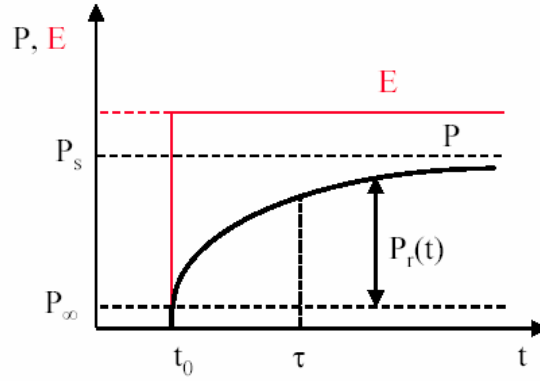
4. Phân cực kết cấu: Sự phân cực này xuất hiện trong các vật liệu không đồng nhất (dị pha) với thời gian xác lập lâu nhất được tạo nên bởi sự tích tụ các điện tích trên các mặt ranh giới giữa các miền khác nhau khi mà các miền này có hằng số điện môi và điện dẫn khác nhau.



Hình 2.1. Các cơ chế phân cực và sự thay đổi của hằng số điện môi theo tần số.  $p_e$ : phân cực điện tử,  $p_a$ : phân cực nguyên tử,  $p_0$ : phân cực lưỡng cực và  $p_i$ : phân cực kết cấu

Khi ta đặt một điện trường lên vật cách điện, những sự phân cực này sẽ xuất hiện lần lượt theo thời gian thiết lập  $\tau$  như quan sát trong hình 2.1. Các phân cực điện tử và nguyên tử là những hiện tượng xảy ra rất nhanh, gần như tức thời, vì thế chúng không phải là đối tượng nghiên cứu của quá trình phân cực trong vật liệu cách điện khi mà thời gian đo chỉ nằm trong khoảng từ  $10^{-6}$  đến  $10^4$ s. Ngược lại, các phân cực định hướng và phân cực kết cấu đóng một vai trò quan trọng trong việc phân tích các thuộc tính về điện của vật liệu.

Dưới tác dụng của điện trường lên vật cách điện, sự chuyển trạng thái từ không phân cực (trạng thái khi không có điện trường) sang trạng thái phân cực sẽ không diễn ra một cách tức thời mà từ từ do quán tính của các chuyển động lưỡng cực (hình 2.1a).



**Hình 2.1a** Phân cực theo thời gian dưới tác dụng của điện trường tĩnh

Trong hình 2.1a,  $P_\infty$  miêu tả sự phân cực trong thời gian vô cùng ngắn và  $P_s$  là tổng số phân cực bão hoà của vật liệu sau một thời gian vô cùng lâu (không giới hạn).

Do đó, sự phân cực tại bất kì thời điểm nào sau  $t=t_0$  có thể được viết như sau:

$$P(t) = P_\infty + (P_s - P_\infty)g(t - t_0) \quad \text{đối với } t \geq t_0 \quad (2.6)$$

Trong đó  $g(t)$  là 1 hàm số tăng từ từ theo thời gian thoả mãn những điều kiện sau:

$$g(t) = \begin{cases} 0 & \text{khi } t \leq t_0 \\ 1 & \text{khi } t \rightarrow \infty \end{cases}$$

Và

$$g(t) \geq 0 \text{ \& } \dot{g}(t) \geq 0 \quad \text{đối với } t \geq t_0$$

Bằng cách thay thế (2.4) đối với mỗi giới hạn phân cực trong (2.6), tổng số phân cực do 1 hằng số điện trường  $E_0$  có thể được tính như sau:

$$P(t) = [\varepsilon_0(\varepsilon_\infty - 1) + (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty).g(t - t_0)]E_0 \quad (2.7)$$

$\varepsilon_0$  và  $\varepsilon_\infty$  hằng số của tần số tĩnh và tần số cao liên quan đến bản chất của vật liệu tương ứng.

Công thức (2.7) có thể được mở rộng để tìm sự phân cực của chiều dài vật liệu do bất kì điện trường nào khi bất kì hàm nào có thể được giải thích bằng tổng hợp của những con số của từng hàm. Bằng cách ứng dụng theo nguyên tắc xếp chồng và sử dụng nếp của toàn bộ phân cực tại thời điểm  $t$  đối với bất kì điện trường  $E(t)$  nào có thể được tính như sau:

$$P(t) = \varepsilon_0(\varepsilon_\infty - 1)E(t) + \varepsilon_0 \int_{-\infty}^t f(t - \tau)E(\tau)d\tau \quad (2.8)$$

Hàm  $f(t)$  là hàm đơn điệu giảm, được biết giống như hàm phục hồi điện môi. Ở phần đầu tiên của (2.8) tương ứng với quá trình phân cực nhanh trong vật liệu.

Bằng cách kết hợp (2.5) và (2.8), tổng mật độ dòng  $J(t)$  cần thiết với hằng số điện trường có thể được viết như sau:

$$\begin{aligned} J(t) &= \sigma E(t) + \varepsilon_0 \frac{\partial E(t)}{\partial t} + \frac{\partial \left\{ \varepsilon_0(\varepsilon_\infty - 1)E(t) + \varepsilon_0 \int_{-\infty}^t f(t - \tau)E(\tau)d\tau \right\}}{\partial t} = \\ &= \underbrace{\sigma E(t)}_1 + \varepsilon_0 \left[ \underbrace{\varepsilon_\infty \delta(t)}_2 + \underbrace{f(t)}_3 \right] E(t) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Ở công thức (2.9), toàn bộ mật độ dòng gồm có 3 thành phần:

- 1- Mật độ dòng do độ dẫn của vật liệu
- 2- Mật độ dòng tác động nhanh do quá trình phân cực nhanh
- 3- Mật độ dòng do quá trình phân cực chậm.

Hơn nữa, có thể nhận thấy trong khoảng thời gian giới hạn bởi các hoạt động của chất điện môi đặc trưng bởi: độ dẫn  $\sigma$ , độ thẩm thấu điện môi cao tần  $\varepsilon_\infty$  và hàm phục hồi điện môi  $f(t)$ .

## 2.2 Đáp ứng điện môi dưới tác động điện trường trong miền tần số

Khi xem xét điện từ trường thay đổi theo thời gian, có thể mô tả chúng bằng cách sử dụng 1 hàm tần số hình sin đơn. Sau đó điện trường  $\underline{E}(t)$  thay đổi theo thời gian có thể được viết như sau:

$$\underline{E}(t) = E_0 e^{j\omega t} \quad (2.10)$$

Phần thực của hàm này là một điện trường vật lý.

Giả thiết rằng, chúng ta nhận được giới hạn thời gian phục hồi và bằng cách thay thế (2.10) trong (2.2) và (2.8), độ dịch chuyển điện môi  $\underline{D}(t)$  có thể được thấy trong công thức dưới đây

$$\underline{D}(t) = \varepsilon_0 \varepsilon_\infty E_m e^{j\omega t} + \varepsilon_0 \int_{-\infty}^t f(t-\tau) E_m e^{j\omega \tau} d\tau \quad (2.11)$$

Bằng cách thay thế  $t_0 = t - \tau$ , ta có

$$\underline{D}(t) = \left\{ \varepsilon_\infty + \underbrace{\int_0^\infty f(t) e^{-j\omega t} dt}_A \right\} \varepsilon_0 E_m e^{j\omega t} \quad (2.12)$$

Nhóm A của công thức (2.12) là tương đương với biến đổi Fourier của hàm  $f(t)$ , được xác định như là tần số phụ thuộc vào độ nhạy cảm điện  $\hat{\chi}(\omega)$ . Ở đây:

$$\hat{\chi}(\omega) = \chi'(\omega) - j\chi''(\omega) = \int_0^\infty f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.13)$$

Ở đây,  $\chi'(\omega)$  và  $\chi''(\omega)$  là thành phần thực và thành phần ảo của độ nhạy phức, Khi tất cả chúng đều bắt nguồn từ hàm tương tự hàm  $f(t)$ , chúng có mối tương quan với nhau được gọi là phép biến đổi Kramers-Kronig (K-K) [12].

$$\begin{aligned} \chi'(\omega) &= \frac{2}{\pi} \lim_{a \rightarrow \infty} \int_0^a \frac{x \cdot \chi''(x)}{x^2 - \omega^2} dx \\ \chi''(\omega) &= -\frac{2\omega}{\pi} \lim_{a \rightarrow \infty} \int_0^a \frac{\chi'(x)}{x^2 - \omega^2} dx \end{aligned} \quad (2.14)$$

Trong giới hạn tần số, mật độ dòng  $\hat{J}(\omega)$  ở chất điện môi do điện trường bên ngoài của  $\hat{E}(\omega)$  có thể được viết như sau:

$$\begin{aligned} \hat{J}(\omega) &= \sigma \hat{E}(\omega) + j\omega [\varepsilon_0 \varepsilon_\infty + \varepsilon_0 \{\chi'(\omega) - j\chi''(\omega)\}] \hat{E}(\omega) = \\ &= j\omega \varepsilon_0 \left[ \underbrace{\varepsilon_\infty + \chi'(\omega)}_A - j \underbrace{\left\{ \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} + \chi''(\omega) \right\}}_B \right] \hat{E}(\omega) = \\ &= j\omega \varepsilon_0 \{\varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega)\} \hat{E}(\omega) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Trong đó  $\varepsilon'$  và  $\varepsilon''$  là thành phần thực và ảo của độ thẩm thấu điện môi.

Phần A và B của công thức (2.15) đại diện cho thành phần dung kháng và điện kháng của dòng tổng tương ứng. Dòng điện kháng cùng pha với trường điện ứng dụng, là kết hợp với tổn hao trong chất điện môi. Chu kỳ 1 của dòng điện

kháng, nơi giới hạn độ dẫn được xác định, được liên quan đến là những truyền dẫn hay tổn hao do điện trở vì sự chuyển động điện tích tự do trong vật liệu. Chu kỳ 2 của dòng điện kháng tương ứng với những tổn hao điện môi trong vật liệu, mà xuất hiện do quán tính của những điện tích ràng buộc nhau khi tăng tốc bởi trường điều khiển.

Trong miền tần số có độ dẫn  $\sigma$ , hằng số điện môi cao tần  $\varepsilon_\infty$  và độ nhạy cảm điện môi  $\hat{\chi}(\omega)$  đặc trưng cho vận động điện môi của vật liệu.

Việc tìm thấy những công thức về cả hai giới hạn, nó là giả định mà cách điện vật liệu là đẳng hướng, đồng nhất và tuyến tính. Vì vậy, thông tin tương đương có thể được tự sử dụng những phép đo trong miền thời gian hoặc miền tần số khác nhau. Nó có thể chuyển thông tin từ miền này tới miền khác bằng công thức biến đổi Fourier của  $f(t)$  hoặc biến đổi ngược Fourier của  $\hat{\chi}(\omega)$ .

Để đưa ra những công thức trong cả hai miền, nó được giả thiết rằng vật liệu cách điện là đẳng hướng, đồng tính và tuyến tính. Bởi vậy, thông tin giống nhau có thể được tập hợp sử dụng những phép đo trong miền thời gian hoặc miền tần số. Nó có thể thay đổi thông tin từ miền này sang miền khác bởi sự biến đổi Fourier của  $f(t)$  hay sự biến đổi ngược Fourier của  $\hat{\chi}(\omega)$

### **2.3 Nguyên lý của phép đo đáp ứng điện môi dưới tác động điện trường**

Như mô tả ở trong phần trước, những phép đo đáp ứng điện môi cũng có thể được thực hiện trong miền thời gian hay miền tần số. Ở thời gian miền, hai kỹ thuật đo được biết đến như đo dòng phân cực và không phân cực và đo sự phục hồi điện áp được sử dụng. Cả hai công nghệ này cung cấp thông tin dựa trên độ dẫn  $\sigma$  và hàm phục hồi  $f(t)$ . Ở tần số xác định, điện dung phức tạp và hệ số tổn hao được đo giống như một hàm của tần số. Thông tin dựa trên hằng số điện môi phức  $\hat{\varepsilon}(\omega)$  và độ dẫn  $\sigma$  đã biết.

#### **2.3.1 Phép đo trong miền tần số**

Ở công nghệ này, quá trình phân cực chậm trong cách điện được nghiên cứu bằng cách đo dòng nhờ các kích thích hình sin. Như vậy, thành phần tần số đơn được xem xét tại một thời điểm, dòng đo được có thể được viết như sau:

$$\begin{aligned}\hat{I}(\omega) &= j\omega C_0 \left[ \varepsilon_\infty + \chi'(\omega) - j \left\{ \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0} + \chi''(\omega) \right\} \right] \hat{U}(\omega) = \\ &= j\omega \{ C'(\omega) - jC''(\omega) \} \hat{U}(\omega) = \\ &= j\omega \hat{C}(\omega) \hat{U}(\omega)\end{aligned}\tag{2.16}$$

Trong đó  $C_0$  là điện dung hình học và  $\hat{U}(\omega)$  là điện áp nguồn.  $C'(\omega)$  và  $C''(\omega)$  là thành phần thực và ảo của điện dung phức  $\hat{C}(\omega)$ . Ở đây cho thấy khả năng có thể tính toán hằng số điện môi phức bằng cách đo giá trị góc pha đáp ứng với điện dung hình học, nhưng nó là không đủ để xác định tổn hao do điện trở và

tổn hao do điện môi khác trong cách điện. Tuy nhiên, ở những dải tần cực thấp thành phần trở kháng thường vượt trội so với các thành phần còn lại. Khi đó,  $\varepsilon''(\omega)$  có hệ số góc là -1 trong thang tần số tỉ lệ và  $\varepsilon'(\omega)$  sẽ không phụ thuộc vào tần số. Tuy vậy, khi xuất hiện sự thay đổi nhảy vọt, thì loại tập tính trên sẽ khó còn tồn tại. Phương pháp khác để tách hai loại tổn hao này bằng cách tính toán tổn hao điện môi sử dụng phép biến đổi K-K của  $\varepsilon''(\omega)$ . Những kết quả của công nghệ này phụ thuộc vào phương pháp đo kích thước của miền tần số.

Khi điện dung hình học là ẩn số, có thể sử dụng tần số phụ thuộc vào hệ số tổn hao  $tg\delta(\omega)$  để đưa ra kết quả đo.

$$tg\delta(\omega) = \frac{\varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)} \quad (2.17)$$

Tuy nhiên, trong trường hợp như vậy, thông tin về những thông số quan trọng của điện môi ( $\chi(\omega)$ ,  $\sigma$  và  $\varepsilon_\infty$ ) không thể nhận được bởi vì hệ số tổn hao là 1 tỷ số của thành phần thực và ảo của hằng số điện môi phức.

### 2.3.2 Phép đo trong miền thời gian

#### *Phép đo dòng phân cực và khử phân cực*

Đo dòng phân cực và khử phân cực có thể được sử dụng để phân tích quá trình phân cực chậm trong vật liệu cách điện. Khi một điện áp một chiều cố định ( $U_0$ ) được phóng qua một vật liệu có điện dung hình học  $C_0$ , dòng tổng có thể được cho như:

$$I_{pol}(t) = \left\{ \frac{\sigma}{\varepsilon_0} + \varepsilon_\infty \delta(t) + f(t) \right\} C_0 U_0 \quad \text{Với } 0 < t < t_0 \quad (2.18)$$

Ở đây, sự đóng góp của hàm  $\delta(t)$  chỉ ở  $t=0$ . Cho nên dòng phân cực gồm có 2 thành phần chính, liên quan đến độ dẫn  $\sigma$  và hàm phục hồi  $f(t)$ .

Sau một thời gian  $t_0$  nhất định, điện áp ứng dụng được loại bỏ và cùng lúc vật liệu được đoản mạch. Dòng thu được do thay đổi của sự phân cực có thể được biểu thị như:

$$I_{depol}(t) = -\{f(t) - f(t+t_0) + \varepsilon_\infty \delta(t)\} C_0 U_0 \quad \text{đối với } 0 < t < \infty \quad (2.19)$$

Đo dòng phân cực và khử phân cực có những điểm trái dấu nhau, nhưng thuận tiện hơn khi chúng được vẽ trên đồ thị, chỉ xem xét những trường hợp quan trọng.

Như trình bày trong công thức (2.19) dòng khử phân cực không có giới hạn độ dẫn. Do đó  $I_{depol}$  có thể được sử dụng để tính hàm phục hồi bằng cách bỏ qua sự có mặt của hàm delta.

$$f(t) = -\frac{I_{depol}(t)}{C_0 U_0} + f(t+t_0) \quad (2.20)$$



Khi đối tượng kiểm tra được nạp đủ trong một thời gian dài ( $t_0$ ). tại ít nhất 5 đến 10 lần dài hơn thời gian đo của dòng khử phân cực.

$$f(t) \gg f(t+t_0) \quad \text{đối với } t > 0 \quad (2.21)$$

Do đó chúng có thể được tính như sau:

$$f(t) \approx -\frac{I_{depol}(t)}{C_0 U_0} \quad (2.22)$$

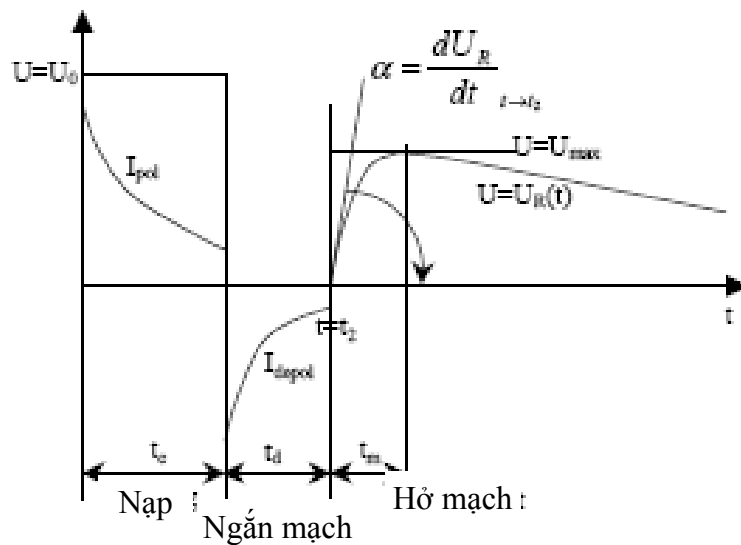
Hàm phục hồi của nhiều chất điện môi rắn giảm chậm cùng với thời gian đo dài đã đáp ứng yêu cầu đưa ra trong (2.21). Trong trường hợp này, công thức (2.20) có thể được sử dụng để ước lượng hàm phục hồi cùng với những số liệu tính toán phù hợp.

Do dòng phân cực và khử phân cực có thể được sử dụng để đánh giá độ dẫn điện 1 chiều  $\sigma$  của đối tượng được đo.

$$\sigma = \frac{\varepsilon_0}{C_0 U_0} \{I_{pol}(t) + I_{depol}(t)\} - \varepsilon_0 f(t+t_0) \quad \text{đối với } t > 0 \quad (2.23)$$

Ở vật liệu rắn, nó rất khó để phân biệt ảnh hưởng của độ dẫn và sự phân cực điện môi trên  $I_{pol}$  nếu quá trình nạp không đầy đủ. Nó cần được nạp đến khi ảnh hưởng của hàm phục hồi điện môi biến mất hoặc  $f(t+t_0) \ll \sigma/\varepsilon_0$ , để thu được độ dẫn chính xác.

### **Phép đo phục hồi điện áp (RVM)**



**Hình 2.2.** Điện áp và dòng điện thay đổi trong suốt quá trình đo RVM

Ở phương pháp này, phụ thuộc vào thời gian, những phép đo điện áp được sử dụng thay cho các phép đo trước đây. Trước tiên, điện áp  $U_0$  được sử dụng để đặt lên cách điện trong khoảng thời gian  $t_c$ . Trong giai đoạn này, dòng phân cực  $I_{pol}$  chạy qua cách điện. Phân cực phần tử có thời gian phục hồi ít hơn  $t_c$ , và sự di chuyển các điện tích tự do là nguyên nhân sinh ra dòng điện này. Sau thời gian  $t_c$ , vật liệu được ngắn mạch trong khoảng thời gian  $t_d$ . Nguyên nhân bởi sự thay đổi của những phân tử phân cực, mà có thời gian phục hồi ít hơn  $t_d$  được phục hồi tất cả. Sau thời gian  $t_d$ , dòng nối ngắn mạch được mở ra và điện áp chạy dọc cách điện được đo. Sự phục hồi của phân tử phân tạo thành một điện áp chạy dọc cách điện. điện áp này phân cực lại một số phân đặc biệt trong cách điện, mà tạo ra một số khó khăn khi phân tích dữ liệu RVM bởi vì những quá trình phục hồi điện môi trong cách điện được kết hợp đối với các vật liệu rải rác. Trong suốt quá trình đo RVM, dòng điện chạy trong cách điện bằng 0. Do vậy, công thức sau đây có thể được sử dụng để phân tích kết quả RVM.

$$\begin{aligned} \sigma U_R(t) + \varepsilon_0 \varepsilon_\infty \frac{dU_R(t)}{dt} + \varepsilon_0 U_0 \{f(t) - f(t-t_1)\} + \\ + \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_{t_2}^t f(t-\tau) U_R(\tau) d\tau = 0 \quad khi \quad t_2 < t < \infty \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$U_R(t=t_2) = 0$$

Từ phép đo phục hồi điện áp, rất khó để xác định độ dẫn  $\sigma$  liên quan đến hằng số điện môi  $\varepsilon_\infty$  ở tần số cao và hàm phục hồi điện môi  $f(t)$ . Tốt nhất là sử dụng công thức của hàm  $f(t)$  sau đó giảm tối thiểu dòng điện trong công thức (2.24). Phương pháp này có thể áp dụng cho các hệ thống khi đã biết hàm  $f(t)$ , mà có thể biểu thị nhờ sử dụng các tham số đơn giản của hàm đại số.

## 2.4 Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của đáp ứng điện môi (dielectric response)

Quá trình phục hồi điện môi của cách điện không chỉ là 1 hàm phụ thuộc tần số hoặc thời gian mà còn phụ thuộc vào nhiệt độ. Tuy nhiên, đối với hầu hết các vật liệu, hình dạng quang phổ của quá trình phục hồi không thay đổi cùng với nhiệt độ, ít ra phải trên dải nhiệt độ trong suốt quá trình mà cấu trúc của vật liệu không thay đổi đáng kể. Ở đây nó cho phép đối với thời gian bình thường hoặc tần số phụ thuộc quang phổ đối với nhiệt độ khác nhau bởi sự thay đổi tương ứng với quang phổ đến tận khi chúng đồng nhất thành một đường cong đơn, hay còn được gọi là đường cong chính [12-14]. Đường cong chính chứa nhiều thông tin hơn phép đo nhiệt độ đơn khi nó bao trùm một dải rộng của tần số hoặc thời gian kéo dài so sánh với phép đo đơn. Đối với một số vật liệu điện môi, 1 sự thay đổi trong hàm quang phổ do sự thay đổi ở nhiệt độ tuyệt đối từ  $T_1$  tới  $T_2$  có thể được biểu diễn theo hệ số Arrhenius như sau:

$$S(T_1, T_2) = \exp \left( - \frac{E}{K} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right) \quad (2.25)$$

Ở đây,  $E$  là năng lượng chuyển động và  $K$  là hằng số Boltzman. Hơn nữa, đối với hầu hết các hệ thống hoạt động Arrhenius, sự thay đổi này dọc theo trục tần số và khi tần số được chia theo tỉ lệ log, nó là một hằng số thay đổi, phụ thuộc vào tần số.

$$shift = \log(\omega_1) - \log(\omega_2) = \frac{E}{K} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2.26)$$

Trong đó,  $\omega_1$  và  $\omega_2$  là 2 tần số tương ứng đối với độ lớn giống nhau của những hàm quang phổ lần lượt tại  $T_1$  và  $T_2$ .

Công nghệ đường cong chính có thể được ứng dụng cho cả thành phần thực và ảo của tần số phụ thuộc vào điện dung phức, khi cả hai chứa thông tin giống nhau. Tuy nhiên, trước tiên sự phân phối của hằng số điện môi tần số cao  $\varepsilon_\infty$  và tổn hao một chiều  $\sigma \varepsilon_0 \omega$  bị trừ đi.

Trong phạm vi thời gian, sự thay đổi tương ứng của hàm phức hồi điện môi để đạt được đường cong chính, đi dọc 1 đường thẳng cùng với góc nghiêng a-1 khi nó là 1 đồ thị thể hiện tỉ lệ log-log.

Sự phụ thuộc nhiệt độ đối với dẫn suất 1 chiều  $\sigma$  có thể cũng được đặc trưng với hệ số Arrhenius cùng với sự phóng xạ năng lượng  $E_{dc}$  và hằng số mũ  $\sigma_0$  như sau:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_{dc}}{KT}\right) \quad (2.27)$$

Trong đó  $T$  là nhiệt độ tuyệt đối.

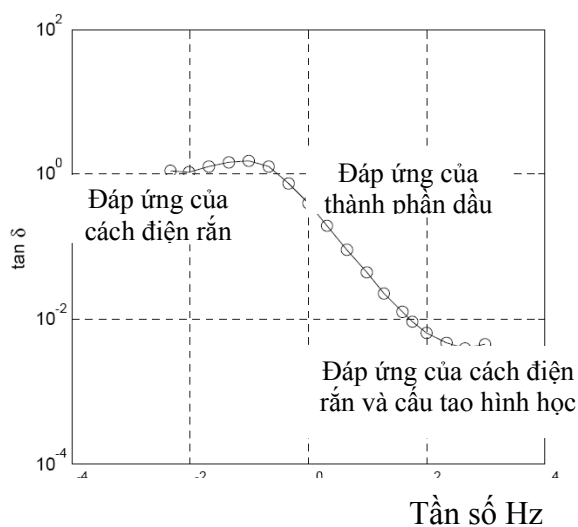
## 2.5 Đáp ứng điện môi của hệ thống cách điện giấy – dầu

Phục hồi điện môi của hệ thống cách điện giấy-dầu bị tác động bởi cách các thành phần được kết hợp với nhau. Do đó, sự phục hồi điện môi của hệ thống cách điện này phản ánh những đặc trưng của mỗi cách điện, giống như sự sắp xếp hình học của những vật liệu cách điện. Khi sự kết hợp vật liệu cách điện là đối tượng đối với một ứng suất điện, quá trình tích lũy xuất hiện tại bề mặt do sự khác biệt trong dẫn suất của hai vật liệu. Hiện tượng này được biết đến giống như quá trình phân cực bề mặt hoặc hiệu ứng Maxwell-Wagner[12].

Chất làm phân tán điện môi của dầu cách điện có thể được bỏ qua trong dải tần số (<1000Hz) trong quá trình. Vì vậy, sự phục hồi điện môi của dầu có thể dễ dàng được mô tả bởi giá trị hằng số điện môi ( $\varepsilon_r=2,2$ ) và suất dẫn 1 chiều  $\sigma$ , mà bị phụ thuộc vào sự có mặt của chất ion gây ô nhiễm trong dầu. Sự phụ thuộc nhiệt độ có thể được đặc trưng bởi sự lựa chọn trong quá trình hoạt hoá năng lượng. Theo cách khác, sự phục hồi của tấm ép và giấy được đặc trưng bởi hàm phục hồi điện môi của chúng, mà phụ thuộc rất nhiều và sự xuất hiện của độ ẩm và quá trình già hoá khác trong cách điện.

Tuy nhiên, nó cho thấy rằng cả dầu và tấm ép có ảnh hưởng lớn trong toàn bộ quá trình phục hồi tại các tần số khác nhau [15], khi ống dẫn dầu ở trong cùng

với các tấm ép. Những ảnh hưởng quan trọng của tấm ép và dầu tại tần số khác nhau trong toàn bộ quá trình phục hồi được thể hiện ở hình 2.3.



**Hình 2.3** Ví dụ về sự thay đổi của hệ số tổn thất của cách điện giấy – dầu phụ thuộc tần số.

Khi cấu trúc hình học của cách điện và sự phục hồi điện môi của từng chất, ví dụ như dầu và giấy. Như đã biết, nó là rất khả thi để tính sự phục hồi của điện môi của cấu trúc phức hợp.

## CHƯƠNG 3: SỰ XUỐNG CẤP CÁCH ĐIỆN MÁY BIẾN ÁP VÀ MỐI LIÊN QUAN TỚI CÁC PHÉP ĐO SỰ HỒI PHỤC ĐIỆN MÔI CÁCH ĐIỆN MÁY BIẾN ÁP

### 3.1 Đánh giá mức cách điện máy biến áp

Điều kiện để đánh giá cách điện MBA là yếu tố cần thiết khi sự giảm sút của cách điện MBA là không thể tránh được. Phép phân tích hoá học và những phép đo điện được sử dụng để đánh giá cách điện MBA.

#### 3.1.1. Phân tích hoá học và vật lý

Những phép phân tích hóa học cung cấp thông tin trực tiếp về trạng thái thực tế của cách điện. Ngoài ra mẫu giấy hoặc dầu được lấy từ mẫu cách điện giấy-dầu được sử dụng cho những phân tích này.

Để đánh giá chất lượng của giấy cách điện bên trong MBA, thường sử dụng 1 hệ số gọi là độ trùng hợp DP, mà tương ứng với số trung bình của những vòng glucosơ trong polime xenlulozơ. DP được xác định bằng cách đo tính dẻo bên trong của sự hoà tan giấy trong một dung môi tương ứng. Nguồn gốc của giấy kraft có DP vào khoảng 1100. Sau quá trình hoạt động, hệ số DP rơi xuống 1 giá trị khoảng 750 và sau đó giảm cùng với thời gian. Giới hạn của DP là 250 thường được sử dụng như sự tương thích đối với thời gian sống cuối cùng của cách điện [31]. Một bộ phận từ phép đo DP, những phép đo màu của iôn cũng được sử dụng để mô tả sự giảm sút nhiệt độ của cách điện giấy bằng cách xác định sự thay đổi đường (monoSacarit, poly sacarit, và đường khan) như mô tả ở TL [16]. Tuy nhiên, tất cả những bài test này yêu cầu mẫu giấy mà MBA được đưa ra khỏi trạng thái làm việc, và những nắp thép phải được mở. Vì vậy, những mẫu giấy đang cầm có thể có hại đối với MBA.

Phân tích dầu được sử dụng đều đặn để đánh giá cách điện MBA. Bảng 3.1 cho thấy những phân tích vật lý – hoá học khác nhau của dầu MBA và những giới hạn xác định bởi những bài test này.

Một số bài test cho thấy ở bảng 3.1, những kết quả của sự chuẩn độ Karl Fischer (KFT), phân tích khí hoà tan và phép thử màu chất lỏng có hiệu suất cao có thể cũng được sử dụng để dự đoán cách điện giấy.

Bảng 3.1 - Phân tích vật lý – hoá học dầu MBA

Kiểu test	giới hạn/ đặc tính
Chuẩn độ KFT	lượng nước trong dầu
Số lượng trung hoà	Lượng axid trong dầu
Những phân tích khí hoà tan	gồm có các khí khác biệt. $H_2$ , $CH_4$ , $C_2H_6$ , $C_2H_4$ , $C_2H_2$ , $CO$ , $O_2$ .
Hiệu suất cao phép thử màu chất lỏng	Hợp chất Furan trong dầu cách điện
Màu sắc	sự giảm giá trị và chất ô nhiễm
Sức căng bề mặt chung	Sức căng bề mặt chung của dầu chống lại nước

Để tìm thấy tổng lượng độ ẩm trong dầu MBA, và sau đó trong giấy, độ chuẩn KFT Culong được sử dụng rất rộng rãi. Công nghệ này cung cấp cách giải quyết tốt hơn so với độ chuẩn thể tích khi đo lượng độ ẩm nhỏ. Lượng nước chứa trong giấy được dự đoán trước bằng cách sử dụng đường cong trạng thái cân bằng độ ẩm giữa dầu và giấy [26]. Nó là rất quan trọng để giữ tỉ lệ của độ ẩm bão hoà của dầu và lượng ẩm trong giấy dưới 30% và 2,5% tương ứng. nó có thể giúp để tăng thời gian sống của MBA [28].

Hầu hết phép phân tích hoá học phải được làm việc với điều kiện là trong phòng thí nghiệm, đó là một lý do chính về trở ngại của những công nghệ này.

### **3.1.2. Những phép đo điện**

Những phép đo điện, sử dụng cho việc đánh giá cách điện MBA đơn giản hơn đối với phép phân tích hoá học và nó có thể hoạt động ở ngay vị trí lắp đặt MBA. Do tính chất đơn giản này, những phép đo điện hiện nay được dùng thích hợp hơn đối với việc xác định trạng thái cách điện MBA so với những thử nghiệm hoá học. Tuy nhiên, những phép đo điện không cung cấp thông tin trực tiếp về cấu tạo của hệ thống cách điện. Vì thế, những kết quả của phép đo điện phải được hiệu chỉnh, giải mã.

Sự khác biệt của những phép đo điện và những ưu nhược điểm của chúng sẽ được thảo luận ở phần dưới đây:

#### **3.1.2.1 Phương pháp truyền thống**

Điện kháng cách điện, chỉ số phân cực và hệ số tổn thất được sử dụng rộng rãi trong phương pháp kiểm tra điện truyền thống ngay tại vị trí lắp đặt MBA để đánh giá trạng thái cách điện MBA. Phép đo bộ phận xả là công nghệ đo truyền thống ngay tại vị trí lắp đặt MBA và chẩn đoán cách điện on-line, liên tục được cải thiện.

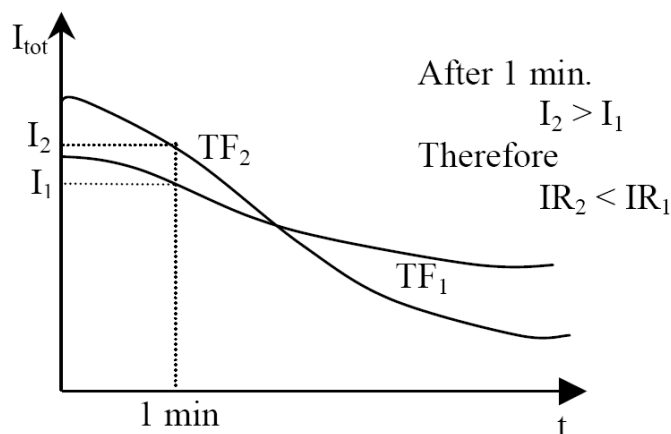
##### ***Điện trở cách điện (IR)***

Phép đo điện trở cách điện là một trong những phương pháp sử dụng để làm rõ độ khô của cách điện MBA. IR được đo bằng cách ứng dụng nguồn điện áp một chiều, thường khoảng 0,25 -5 kV, đặt lên dọc cách điện. Dòng đo được, là sự kết hợp của dòng điện dung, dòng hút và dòng dẫn, sự giảm đơn điệu. Do đó, nó rất khó để đo đúng giá trị điện kháng 1 chiều, đặc biệt trên cách điện MBA mới nơi giá trị 1 chiều đạt được chỉ sau vài giờ. Thường điện kháng được đo sau 1 phút từ thời điểm điện áp một chiều được cấp. Nhiệt độ của ảnh hưởng cách điện IR. Nó đã cho thấy rằng khi tăng nhiệt độ lên 10<sup>0</sup> C sẽ tương ứng giảm điện kháng cách điện IR còn một nửa. cho nên, nó rất quan trọng để lưu ý đến nhiệt độ của cách điện khi đo điện kháng cách điện [28].

Ở công nghệ này, không có giá trị tuyệt đối được xác định giống như giới hạn cho phép. Thay vào đó, giá trị IR phải được so sánh với giá trị đo trước của MBA tương tự hoặc từ những phép đo của MBA tương tự để đánh giá điều kiện thực tế của cách điện. Những phép đo IR đưa ra dấu hiệu tốt hoặc không về cách điện bị ẩm ướt hoặc bẩn, nhưng nó khá khó để xác định bộ phận cách điện ẩm ướt. Nó được đề nghị để sử dụng bảo vệ điện cực trong phép đo IR để chống lại ảnh hưởng của sự rò rỉ không mong muốn, ví dụ sự rò rỉ dòng điện thông qua cái lót

cách điện. Nếu phép đo hệ thống không cung cấp 1 cái điện cực bảo vệ khi những bề mặt của những tấm đệm phải được làm sạch sẽ trước khi đo. Những kết quả ảnh hưởng bởi sự rò rỉ có thể dẫn đến những kết luận sai, đặc biệt khi đo IR thấp. Một lí do khác mà không tin tưởng hoàn toàn vào phương pháp này là IR của cách điện kém phải xuất hiện cao hơn IR của cách điện tốt, nếu nó không đo trong thời gian đủ dài và toàn bộ dòng thay đổi như ở hình 3.1. Cho nên, khi IR là thấp, nó được sử dụng mà những bài test chẩn đoán khác cũng được thực hiện [14, 28, 31].

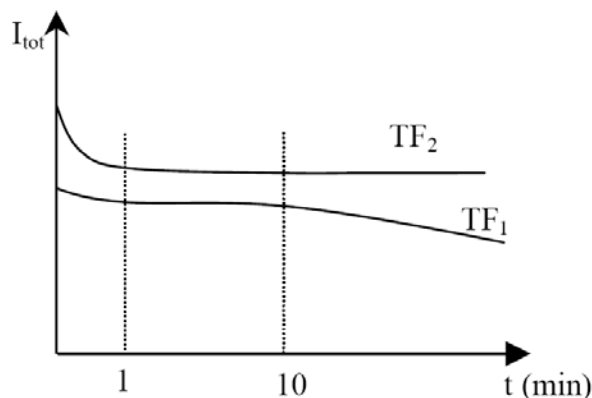
Tuy nhiên, sự tiện ích bên trong những phương pháp này là vẫn rất thông dụng bởi vì nó đơn giản và giá thiết bị đo thấp so với những thiết bị đo khác.



Hình 3.1 Thay đổi của dòng điện trong suốt quá trình đo IR trên 2 MBA khác nhau

### Chỉ số phân cực (PI)

PI là sự mở rộng của phép đo IR. Trong công nghệ này, điện kháng cách điện được đo tại 2 thời điểm khác nhau (ví dụ trong khoảng từ 1 phút đến 10 phút) sau đo điện áp được sử dụng. Theo định nghĩa, PI là tỉ số của điện kháng cách điện tại phút thứ 10 với phút thứ 1. PI đo được trên MBA có nhiều lớp cách điện có ảnh hưởng mạnh hơn bởi tính chất vĩ mô bề mặt phân cực chung và cấu tạo hình học của dầu và tấm ngăn. Tuy nhiên, PI ít phụ thuộc nhiệt độ hơn IR, khi nó là một tỉ số của 2 giá trị tại nhiệt độ xác định.



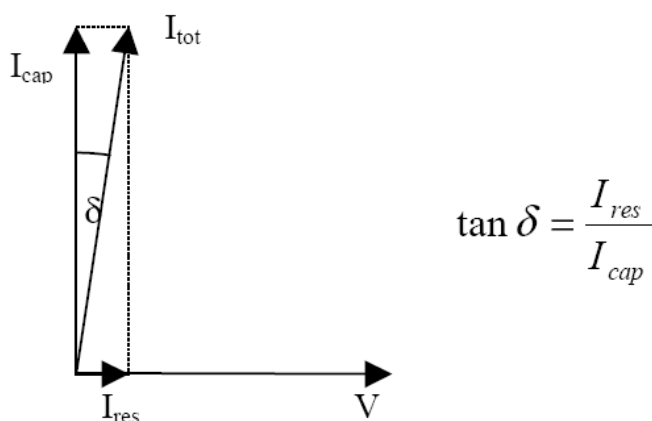
Hình 3.2 Thay đổi của dòng điện theo phép đo IR/PI của 2 MBA khác nhau

Trong việc đưa ra lời giải thích về PI, chỉ ra rằng PI là lớn hơn tính đồng nhất đối với hệ thống cách điện tốt. Tuy nhiên, khi sự nạp dòng điện của những thay đổi cách điện, giống như hình 3.2, nó không thể phân biệt giữa những giá trị cách điện tốt và tồi của PI. MBA  $TF_1$  và  $TF_2$  có giá trị PI gần như nhau mặc dù cách điện của  $TF_1$  tốt hơn  $TF_2$ . Do đó, sự đáng tin cậy của công nghệ này bị giới hạn. Nó cũng không thể sử dụng phương pháp này cho việc dự đoán lượng độ ẩm hoặc độ dẫn của cách điện

### ***Hệ số tổn thất (hệ số hao mòn, $\tan \delta$ )***

Đo hệ số tổn thất là phương pháp đo điện truyền thống sử dụng để xác định tổn hao năng lượng ở cách điện điện áp cao.

Hệ số tổn thất của cách điện được xác định như tỉ số giữa dòng điện kháng và điện dung nguyên nhân bởi việc sử dụng nguồn điện áp 1 chiều dọc cách điện (hình 3.3). Hơn nữa, toàn bộ tổn hao của vật liệu cách điện được đặc trưng bởi hệ số góc  $\delta$ .



Hình 3.3 đồ thị pha của dòng cách điện

Thông thường hệ số tổn thất được đo tại tần số khoảng 50-60Hz phụ thuộc vào tần số vận hành của hệ thống. Tuy nhiên, trong một vài phép đo tần số của hệ thống gần giống với tần số điện áp đo được sử dụng để loại ra tần số nhiễu trong khi đang đo tại nơi làm việc. Ví dụ trong tài liệu chúng ta có thể tìm thấy mối liên quan theo kinh nghiệm giữa hệ số tổn thất ở 80Hz và 50Hz đối với từng loại dòng điện MBA đặc trưng [31]. Người ta khuyến cáo rằng: phương pháp này nên được phát triển xa hơn nếu nó được sử dụng đối với các MBA khác.

Trong cách đo hệ số tổn thất thông thường, sử dụng 1 cầu đo khá phức tạp cùng với một nguồn xoay chiều điện áp cao. Kiểm tra điện áp sử dụng loại trường test để cài đặt sự thay đổi rộng rãi (10V-12kV). Một điện áp thấp hơn tỉ lệ với điện áp của thiết bị đo được sử dụng để đo hệ số tổn thất.

Hệ số tổn thất nhạy cảm với nhiệt độ và những thay đổi cùng tần số. Vì vậy, hệ số tổn thất là cần thiết để cung cấp thông tin đối với tần số của điện áp sử dụng



và nhiệt độ của cách điện trong suốt quá trình đo. Ở phần này, hệ số tổn thất phụ thuộc vào kết cấu hình học của cách điện giấy-dầu. Vì vậy, không thể so sánh được hệ số tổn thất của hệ thống cách điện khác nhau.

Khi phóng điện một số bộ phận xuất hiện đỉnh nhọn lớn hơn đỉnh của hệ số tổn thất trái với đường cong điện áp [31]. Ảnh hưởng Garton là hiện tượng khác, bằng cách khác, làm giảm hệ số tổn thất cùng với việc tăng điện áp thử nghiệm [31].

### ***Đo phóng điện cục bộ PD***

Phóng điện cục bộ hoạt động trong MBA có những nhược điểm chính là sự biến dạng cơ khí như cong vênh, làm hư hỏng và làm già hoá các bộ phận, gây các khuyết tật của cấu trúc cách điện của các nhánh. Các phóng điện cục bộ bên trong cách điện MBA có thể tìm ra được bằng cách sử dụng phương pháp điện hoặc không điện. Phương pháp điện có độ nhạy nhiều hơn so với phương pháp không điện, nhưng cũng rất khó để đạt được độ nhạy tốt do các nguồn nhiễu điện khác trong quá trình thực hiện, đặc biệt là quá trình phóng điện hoa. Phương pháp không điện thì đơn giản và chúng rò ra được quá trình hình thành bên trong MBA. Một nhận biết tốt nhất của cấu trúc bên trong MBA là cần thiết tương quan với những kết quả đo phóng điện cùng với sự hư hỏng cơ khí. Một trong những thuận lợi của công nghệ này là nó có thể được sử dụng giống như một công cụ chẩn đoán trực tiếp. Cho phép để xác nhận những lỗi và những khuyết điểm của cách điện một cách dễ dàng hơn [31, 31].

### **3.1.2.2. Đo đáp ứng điện môi**

Bất lợi chính của 3 công nghệ đầu tiên (IR, PI và hệ số tổn thất) được mô tả ở chương trước là chúng không cung cấp đủ thông tin về điều kiện của cách điện, cần thiết cho việc đánh giá tin cậy. Phép đo sự phục hồi điện môi cung cấp nhiều thông tin để so sánh với các trường hợp ở trên. Thông qua đó, những công nghệ này đã được giới thiệu gần đây để đánh giá điều kiện của cách điện MBA trong điện trường. Chúng đã được sử dụng trong nhiều năm, đặc biệt đối với những kết quả đo trong phòng thí nghiệm.

### ***Dòng phân cực và khử phân cực (PDC)***

Dòng phân cực và khử phân cực đo sự vênh giữa điện áp thấp (LV) và điện áp cao (HV) của MBA cách điện dầu -giấy được sử dụng để đánh giá điều kiện cách điện [31]. Để đo dòng phân cực, điện áp 1 chiều cố định (trên 500V) được sử dụng dọc tình trạng ngắn mạch từng cực điện áp thấp và điện áp cao riêng rẽ. Sau đó dòng khử phân cực được đo bởi dòng ngắn mạch cực HV và LV thông qua một máy đo điện tử sau khi đo điện áp 1 chiều đã được gỡ đi. Cực bảo vệ được sử dụng để chống lại ảnh hưởng của dòng rò. Ngay sau đó, hệ thống máy tính điều khiển đo PDC được hiển thị để đo tại đây [31].

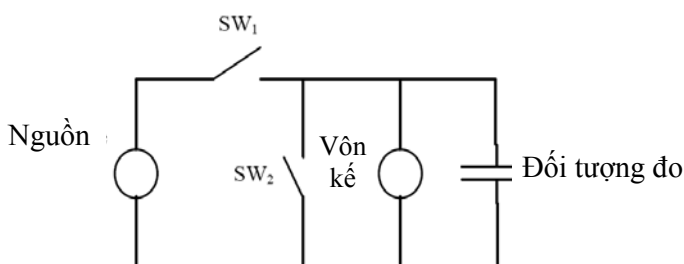
Thuận lợi chính của phương pháp này là nhiều thông tin có thể được tập trung lại để so sánh cùng với những phép đo IR và PI truyền thống. Ở giữa 2 phép đo PDC liên nhau, Những cực cuối cùng phải bị ngắn mạch trong một thời gian đủ dài để làm giảm những ảnh hưởng bộ nhớ. Một quy tắc đơn giản đối với thời gian đo chính là dòng ngắn mạch ở lần cuối cùng nên kéo dài ít nhất so với thời gian

phóng điện trước trước khi bắt đầu một phép đo mới. Rất nhiều phương pháp là giảm những tiếng ồn phức tạp cần thiết đối với phép đo PDC, là hạn chế khác để sử dụng phương pháp này giống như một phép chẩn đoán on – site.

### **Phép đo phục hồi điện áp (RVM)**

Như miêu tả trong chương 2, RVM là công nghệ đo thời gian chính xác khác đối với việc nghiên cứu những quá trình phân cực chậm trong vật liệu cách điện. Khi nó được sử dụng để xác định điều kiện của cách điện MBA, thông thường hầu hết vài phương pháp đo giữa cực HV và LV đều dẫn đến thời gian phóng khác nhau trong khi tỉ số  $t_c/t_d$  là chủ yếu tại 2. Điện hình là 1 điện áp ở giữa 500 – 2000V được sử dụng như điện áp phóng.

Nguyên lý phép đo được sử dụng đối với RVM được thể hiện ở hình 3.4.



**Hình 3.4 Sơ đồ phép đo RVM**

Trong một nghiên cứu của nhà khoa học Hungari, sự thay đổi của hằng số thời gian trung tâm (có ảnh hưởng lớn) sử dụng để đánh giá lượng độ ẩm trong cách điện giấy. Khi tỉ số  $t_c/t_d$  là 2, hằng số thời gian trung tâm là thời gian phóng  $t_c$  nơi mà điện áp phục hồi lớn nhất là cao nhất. Như diễn giải ở [31] hằng số thời gian giảm đáng kể cùng với tuổi thọ của cách điện. Mặc dù vậy việc giải thích này rất đơn giản, dự đoán lượng độ ẩm trong giấy cách điện thường cao hơn số lượng thực tế. Theo cách khác, những hằng số thời gian không quan trọng, tương ứng với sự phụ thuộc vào đỉnh nhọn của đường cong  $U_{max}$  đối với  $t_c$ , thường sử dụng để đánh giá lượng độ ẩm trong giấy. Ở đây, đồ thị góc nghiêng ban đầu của đường cong điện áp phục hồi  $\alpha$  đối với điện áp phục hồi lớn nhất  $U_{max}$ , mà được biết giống như sự trình bày “Guinic”, được sử dụng để xác nhận đỉnh nhọn đầu và để xác nhận sự có mặt của hằng số thời gian không quan trọng đối với hằng số thời gian có ảnh hưởng lớn. Những đỉnh nhọn liên quan này được xem xét giống như những ảnh hưởng của hiện tượng phân cực của cách điện ở thể rắn.

### **Phổ điện môi trong miền tần số (FDS)**

Ở công nghệ FDS, biết đến điện áp hình sin được sử dụng dọc cách điện, phép đo được lặp lại với vài tần số quét. Thường thì những phép đo này được đưa ra ngoài từ tần số cao đến tần số thấp để làm giảm nhỏ nhất ảnh hưởng đến bộ nhớ. Để tăng độ tin cậy của phép đo, tại hai điện áp nhỏ nhất hình cung được sử dụng tại mỗi phép đo tần số. Do đó, theo quy luật ngón tay cái (thumb) về toàn bộ phép đo thời gian, là một thông số giới hạn đối với phép đo on-site, nó bằng 4 lần độ lớn thời gian của tần số nhỏ nhất

Thuận lợi chính của phép đo FDS là dải thông nhỏ có sẵn của các thành phần điện môi liên quan không nhạy cảm đối với sự giao thoa và do đó không cần 1 nguồn có điện áp cao. Nó cũng có thể tránh những phép đo tại dải tần số điện bằng cách chọn 1 dải tần số quét phù hợp. Một thuận lợi khác là có thể sử dụng cấu hình 3 cực, mà có khả năng loại trừ dòng điện dò không cần thiết.

### **3.2. Mô phỏng quá trình đáp ứng của điện môi**

Mặc dù chức năng của phản ứng điện môi là phản ánh tình trạng cách điện nhưng thật khó để xác định tình trạng thực tế của cách điện (ví dụ như là lượng độ ẩm trong cách điện) chỉ bằng cách quan sát các đường cong tương ứng, đặc biệt là khi cách điện là một hỗn hợp phức tạp của nhiều thành phần khác nhau. Vấn đề này có thể được giải quyết, đánh giá bằng cách so sánh phản ứng điện môi của cách điện đang nghiên cứu với phản ứng điện môi của các mẫu cách điện tương tự đã được xác định. Phản ứng điện môi của các thành phần cách điện có thể được biểu hiện bằng một hàm số phân tích theo thời gian hoặc tần số, để có thể tính toán dễ và nhanh bằng các thao tác toán học trong quá trình so sánh này. Thêm nữa, khi cách điện là hỗn hợp phức tạp của hai hay nhiều thành phần thì việc mô hình hóa sự sắp xếp hình học của cấu trúc cách điện sẽ cung cấp cho ta sự so sánh tốt hơn giữa các phản ứng của cách điện và của các mẫu.

#### **3.2.1. Các công nghệ mô hình hóa**

Hai phương pháp tiếp cận khác để tìm ra hàm phân tích thay thế cho phản ứng điện môi đã được giới thiệu trong [14, 31]

Một trong 2 cách tiếp cận này, được gọi là hàm số tiếp cận [14; 31], một biểu thức phân tích thể hiện sự phụ thuộc của thời gian hoặc tần số vào phản ứng điện môi, bằng cách lựa chọn những hệ số đồng bộ cho biểu thức. Ngoài ra biểu thức này cũng được dùng để mô hình hóa quá trình phân cực.

Trong cách tiếp cận còn lại, được gọi là tiếp cận mạch tương đương, hoạt động của cách điện được mô hình hóa bằng một mạch RC tương đương [31], sẽ được thảo luận ở phần sau của tài liệu này.

##### **3.2.1.1 Mô hình Debye với các hằng số đơn và hằng số phân phối thời gian.**

Các hàm phản ứng điện môi phạm vi tần số và thời gian của mô hình Debye cổ điển được giới thiệu trong công thức (5.1A) và (5.1 B):

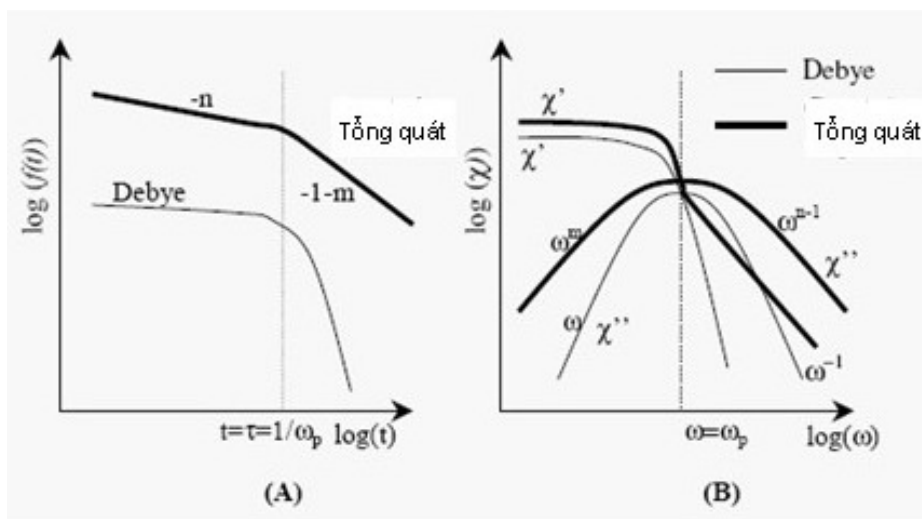
$$f(t) = \frac{\Delta \varepsilon}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.1A)$$

$$\hat{\chi}(\omega) = \frac{\Delta \varepsilon}{1 + j\omega\tau} \quad (5.1B)$$

Trong đó  $\tau$  được hiểu là thời gian phục hồi điện môi và  $\Delta \varepsilon$  là độ bền điện môi.

Mô hình Debye được xuất phát từ sự công nhận rằng quá trình lưỡng cực trong môi trường phục hồi không tương tác với nhau. Do đó mô hình Debye đơn

giản là không tương ứng với hầu hết các thành phần khác với chất lỏng ở cực [12]. Các phản ứng Debye phụ thuộc tần số và thời gian được biểu thị trong hình 3.5 A và B.

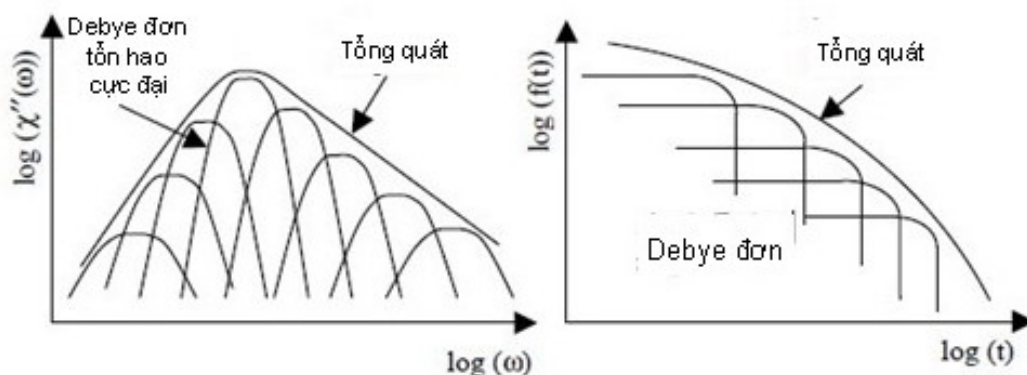


Hình 3.5: đặc tính thời gian và tần số của các hàm phục hồi điện môi khác nhau

Các phản ứng điện môi, khác với những ý tưởng đã đề cập trong mô hình Debye, có thể được hiểu là sự phân phối thời gian phục hồi. Tại đây, phản ứng tổng sẽ được mô hình thành một quá trình Debye mở rộng.

$$\chi(\omega) = \int_0^{\infty} \frac{g(\tau)}{1 + j\omega\tau} d\tau \quad (5.2)$$

Trong đó hàm  $g(\tau)$  xác định thời gian phục hồi, được xem như là một hàm riêng. Đồ thị thể hiện sự hoạt động này trong phạm vi tần số và thời gian là hình 3.6



Hình 3.6 Biểu đồ biểu thị phản ứng điện môi phi Debye theo sự phân phối thời gian phục hồi.

Cũng có thể giải thích các tín hiệu vật lý của số lần phân phối sự phục hồi trong thành phần rắn như là biểu hiện của sự không đồng nhất trong các thành phần, điều mà đã tạo ra các môi trường xung quanh khác nhau ở các cực.

### 3.2.1.2 Hàm phản ứng tổng quát

Hàm phản ứng tổng quát có thể được dùng để mô tả hàm phản ứng điện môi, cho thấy sự chuyển đổi của 2 quá trình tại  $t = 1/\omega_p$ , hình 3.5. Trong phạm vi thời gian thì hàm phản ứng tổng quát có thể được viết là:

$$f(t) = \frac{A}{(\omega_p t)^n + (\omega_p t)^{1+m}} \quad 0 < n, m < 1 \quad (5.3)$$

Một thành phần loga của biểu thức này cho thấy 2 đường thẳng với độ dốc khác nhau:

Khi  $t \gg 1/\omega_p$ , độ dốc của đường thẳng là  $-(1+m)$  và khi  $(t \ll 1/\omega_p)$ , độ dốc là  $-n$ . Một biểu thức tính gần đúng tương ứng với sự mất đi phụ thuộc vào tần số của hàm này được viết ra như sau [12]

$$\chi''(\omega) = \frac{1}{\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-m} + \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{1-n}} \quad (5.4)$$

Thành phần thực của hàm tổng quát phụ thuộc tần số được biến đổi như trong hình 3.5B. Giá trị của  $n$  có thể được dùng để phân loại thành phần như là một hệ thống mang điện nạp ( $0 < n < 1$ ) hay hệ thống lưỡng cực ( $1 < n < 2$ ). Phản ứng điện môi của ván ép và bìa cát tông đã được xác định rõ bằng phản ứng điện môi [12]

Tuy nhiên, hàm phản ứng điện môi không thể được phân tích bằng chuỗi Fourier. Do vậy đôi lúc ta sử dụng một hàm khác có cấu trúc tương tự như hàm phản ứng điện môi để mô phỏng. Hàm này có thể phân tích bằng chuỗi Fourier và sự phụ thuộc của nó theo thời gian và tần số có thể được viết ra là:

$$f(t) = A \left\{ e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \left(\frac{t}{\tau}\right)^{-m} + \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \cdot \left(\frac{t}{\tau}\right)^{-n} \right\} \quad (5.5 A)$$

$$\hat{\chi}(\omega) = A \left\{ \frac{\tau^m \Gamma(1-m)}{\left(\frac{1}{\tau} + i\omega\right)^{1-m}} - \frac{\tau^n \Gamma(1-n)}{\left(\frac{1}{\tau} + i\omega\right)^{1-n}} + \frac{\tau^n \Gamma(1-n)}{(i\omega)^{1-n}} \right\} \quad (5.5 B)$$

$0 < m < 1$   
 $0 < n < 2$

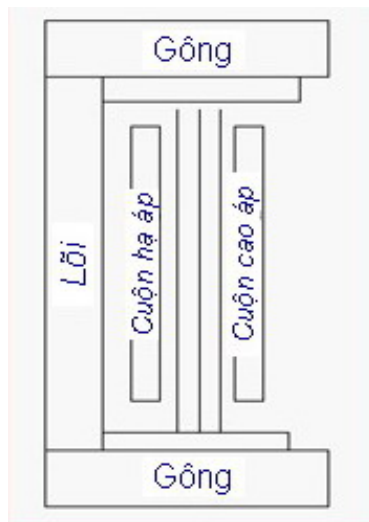
Tuy nhiên, biểu thức này không có bất kỳ một ý nghĩa vật lý nào

### 3.2.1.3 Mô hình X-Y

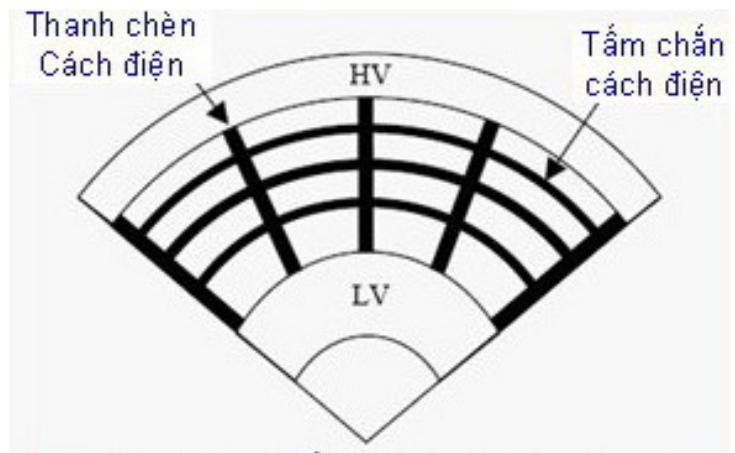
Hàm tiệm cận là sự phát triển cao hơn của mô hình hóa hệ thống cách điện trong MBA lực bằng cách xem xét sự sắp xếp hình học [31]. Hình 3.7 cho thấy kiểu

sắp xếp cách điện và cuộn dây trong MBA lực. Theo như trong hình cuộn hạ áp thường được bao quanh bởi cuộn cao áp và những cuộn dây này được tách biệt bằng cách điện chính là tổ hợp các tấm ván ép và dầu. Do đó các thông số phản ứng giữa cuộn cao áp và hạ áp bị ảnh hưởng bởi hệ thống cách điện composit này.

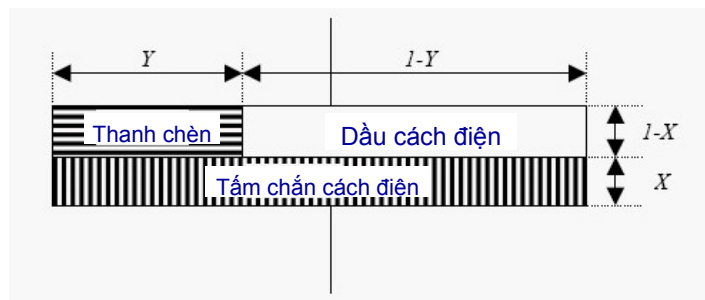
Trong lõi của MBA, cách điện chính bao gồm một loạt các tấm chắn bằng ván ép có chứa dầu như trong hình 3.8. Sự sắp xếp hình học phức tạp như trong hình có thể được đơn giản hóa bằng tổ hợp tất cả các ống dẫn dầu, các tấm chắn và khoảng trống riêng biệt, được mô phỏng đơn giản. Rồi sau đó cách điện chính lại tiếp tục được đơn giản hóa thành cái mô hình X-Y như trong hình 3.9



Hình 3.7 : cấu trúc đặc trưng của cuộn dây MBA



Hình 3.8: mặt cắt cách điện chính của lõi MBA



Hình 3.9: Cấu trúc đơn giản của cách điện lõi MBA

Tại đây:

$X$  = tổng độ dày của các tấm chắn / chiều rộng của ống dẫn

$Y$  = Tổng chiều rộng của các khoảng trống / chu vi của ống dẫn

Trong các MBA thực tế thì  $X$  và  $Y$  thường biến đổi trong khoảng từ  $0,2 \div 0,5$  và  $0,15 \div 0,25$ . [31].

Phản ứng điện môi qua hệ thống X-Y có thể được tính toán khi từng thành phần phản ứng điện môi của dầu, tấm chắn đã được biết. Phản ứng của dầu được mô tả như là một hằng số của hằng số dẫn điện DC  $\sigma$  và hằng số điện môi  $\epsilon_r$  ( $=2,2$ ). Cả tấm chắn và khoảng trống được tạo ra bởi ván ép, họ coi như là một thành phần đơn. Phản ứng điện môi của ván ép có sự phân tán tần số trong dải thời gian và tần số thường. Do đó phản ứng của ván ép được mô tả như là một hàm số phản ứng điện môi của nó hay là độ nhảy của chúng trong phạm vi thời gian và tần số. Các thông số điện môi được xác định trong các tấm ván ép mẫu được sử dụng làm dữ kiện cùng với các hàm phản ứng tương thích với hàm lượng độ ẩm. Các phản ứng này có thể được miêu tả rất rõ trong hàm phản ứng tổng quát. Nhiệt độ của dầu và giấy được coi như đã mô tả trong phần 2.4. Và nguồn hoạt hóa với tấm ván ép là 0,9eV, và đối với dầu là 0,7eV[31].

Thêm vào các thông tin ở trên, khi X và Y của MBA đã được biết, (5.6) có thể được dùng để tính phản ứng điện môi phụ thuộc tần số tương ứng tại một nhiệt độ nhất định đối với lượng độ ẩm trong tấm ván ép cho trước cùng với độ dẫn điện của dầu.

$$\hat{\epsilon}(\omega, t)_{duct} = \frac{Y}{\frac{1-X}{\hat{\epsilon}_{spacer}} + \frac{X}{\hat{\epsilon}_{barrier}}} + \frac{1-Y}{\frac{1-X}{\hat{\epsilon}_{oil}} + \frac{X}{\hat{\epsilon}_{barrier}}} \quad (5.6)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} \hat{\epsilon}_{spacer} &= \hat{\epsilon}_{barrier} = \hat{\epsilon}_{pressboard}(\omega, T) \\ \hat{\epsilon}_{oil} &= \epsilon_{r,oil} - j \frac{\sigma(T)}{\epsilon_0 \omega} \end{aligned} \quad (5.7)$$

Tập hợp các phương trình trên có thể được dùng để tính toán dòng phân cực  $I_{pol}$  của cùng hệ thống cách điện trong phạm vi thời gian.

$$I_{pol} = I_s + I_{oil} = I_b \quad (5.8)$$

$$U = U_b + U_{so} \quad (5.9)$$

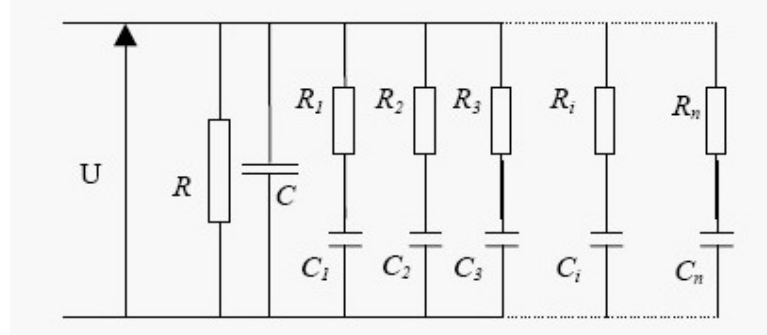
Tại đây,  $I_s$ ,  $I_{oil}$  và  $I_b$  là dòng phân cực qua khoảng trống, dầu và tấm chắn.  $U_b$  và  $U_{so}$  là điện áp qua tấm chắn và khoảng trống. Dòng tương ứng có thể được tính toán bằng cách áp dụng với từng thành phần riêng biệt.

Khi thời gian nạp  $t_c$  và thời gian phóng  $t_d$  là thời gian danh nghĩa (2.24) kết hợp với (5.9) có thể cũng được sử dụng xuất phát từ mẫu điện áp phục hồi tương ứng với sự sắp xếp X-Y trong MBA đang xét.

Các kỹ thuật đo lường được mô tả trong phần trên có thể được dùng để đo lường FDS, FDC và RVM. Sau đó các kết quả thu được từ những phép đo này sẽ được so sánh với đại lượng ban đầu tương ứng từ việc sử dụng mô hình X-Y. Các lỗi giữa đại lượng ban đầu và đại lượng từ phép đo sẽ được tối thiểu hóa bằng cách thay đổi hàm lượng độ ẩm trong tập ván ép cũng như độ dẫn điện của dầu cho đến

khi đạt tới một đại lượng thích hợp nhất. Điều này cho phép dự báo được hàm lượng độ ẩm trong giấy và độ dẫn điện của dầu trong MBA đang nghiên cứu.

Trong mô hình tiếp cận thứ hai, mỗi thành phần sẽ được trình bày bằng một mạch RC tương đương thay thế cho một chức năng phân tích đơn lẻ. Một ví dụ về mạch tương đương được trình bày trong hình 3.10.



Hình 3.10: mạch RC tương ứng với phản ứng điện môi của cách điện

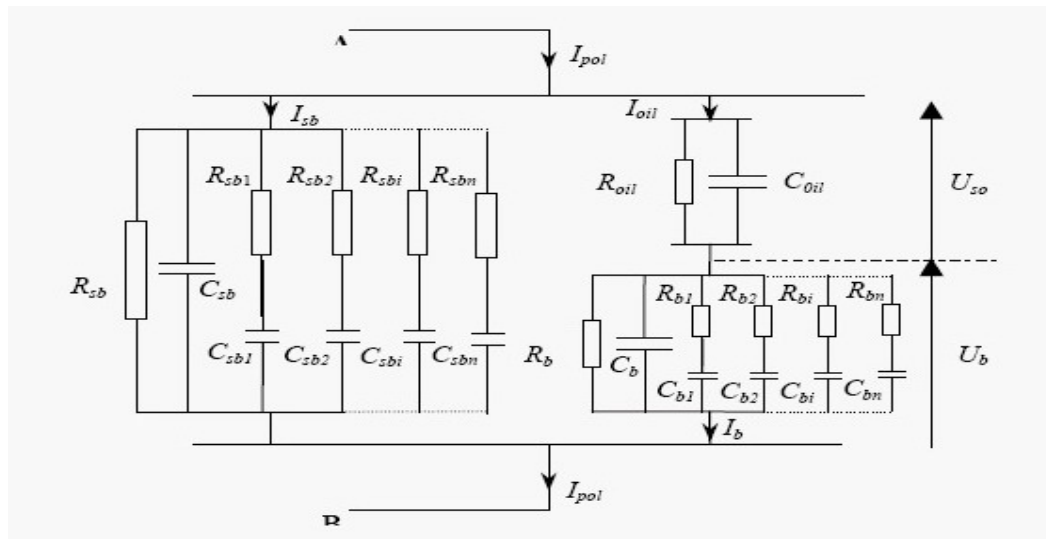
Tại đây sự phân tán điện môi của thành phần này được mô phỏng thành  $n$  nhánh RC song song. Khi dung lượng hình học  $C_0$  đã biết, với thời gian nạp dài  $t_c$  thì hàm phản ứng điện môi có thể được viết như sau:

$$f(t) \approx \frac{I_{depol}}{C_0 U} = \sum_{i=1}^n A_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (5.10)$$

Trong đó

$$A_i = \frac{1}{C_0 R_i} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_c}{\tau_i}\right) \right]$$

$$\tau_i = R_i C_i$$



Hình 3.11: mạch RC tương ứng của mẫu X-Y



Do đó việc sử dụng thông số đối với các mẫu cách điện có sẵn, ta có thể tính được hằng số thời gian tương đương bằng cách tính hàm loga [31].

Ứng dụng của phương pháp này đối với mô hình X-Y được trình bày trong hình 3.11. Trong hình này, cả phần tấm chắn và khoảng trống được tạo ra bởi tấm ván ép. Do đó đó, khi tấm chắn và khoảng trống được nối thành một hàng thì có thể giả thiết chúng tương đương với một bộ phận đơn lẻ.

Điện dung và điện trở của dầu có thể được tính toán chính xác khi biết hằng số điện môi và độ dẫn điện 1 chiều DC.

$$C_{oil} = C_0 \epsilon_0 \epsilon_r \frac{1-Y}{1-X} \quad (5.11)$$

$$R_{oil} = \frac{\epsilon_0}{C_0 \sigma} \left( \frac{1-X}{1-Y} \right) \quad (5.12)$$

Do vậy đối với MBA thực tế, sự sắp xếp hình học của chúng đã có thể được biết ( $C_0$  đã biết), dòng điện phân cực  $I_{pol}$  của cách điện chính có thể được tính bằng cách sử dụng công thức {(5.13) - (5.17)}.

$$I_{oil} = \frac{U_{so}}{R_{oil}} + C_{oil} \frac{dU_{so}}{dt} \quad (5.13)$$

$$I_b = \frac{U_b}{R_b} + C_b \frac{dU_b}{dt} + \sum_{i=1}^n \frac{U_b}{R_{bi}} e^{-\frac{t}{R_{bi}C_{bi}}} \quad (5.14)$$

$$I_{sb} = \frac{U}{R_{sb}} + C_{sb} \frac{dU}{dt} + \sum_{i=1}^n \frac{U}{R_{sbi}} e^{-\frac{t}{R_{sbi}C_{sbi}}} \quad (5.15)$$

$$I_{oil} = I_b \quad \text{and} \quad U = U_b + U_{so} \quad (5.16)$$

$$I_{pol} = I_b + I_{sb} \quad (5.17)$$

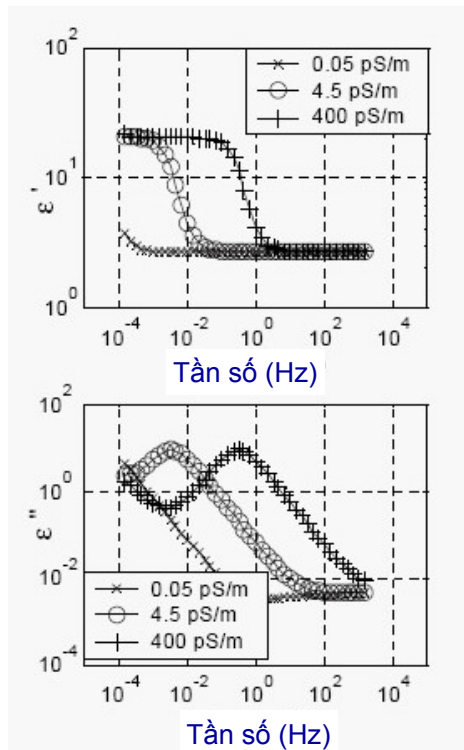
Dòng điện phân cực tính toán phù hợp với dòng đo được bằng cách thay đổi độ dẫn điện cũng như các thông số RC của mạch RC phân phối đã được đề cập trong phần [31]. Các thông số này cũng được dùng để tính toán tần số phụ thuộc vào quang phổ điện môi và điện áp phục hồi được mô tả ở phần trước.

Một trong những giả thiết chính của mô hình X-Y là phản ứng điện môi là tuyến tính. Tuy nhiên trong một vài trường hợp giả thiết này có thể không đúng, đặc biệt là trong trường hợp dầu cách điện mới. Do đó lời khuyên là nên giữ điện áp ở mức nhỏ nhất.

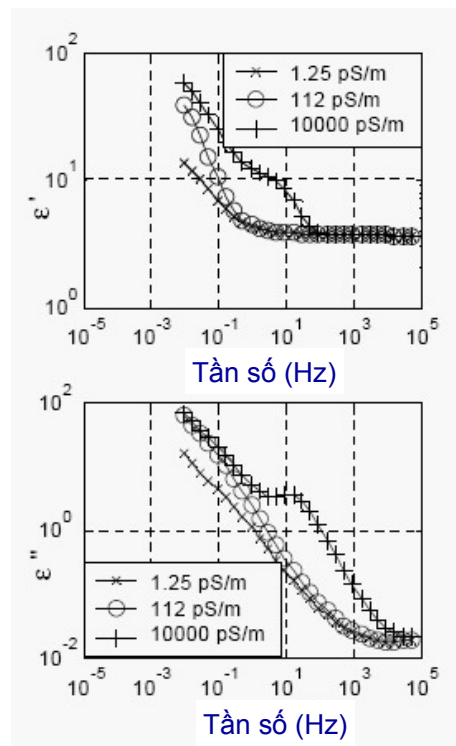
### 3.2.2. Ảnh hưởng của các thông số trong mô hình X-Y lên phản ứng FDS cuối cùng.

Mô hình X-Y được sử dụng rộng rãi để phân tích cách điện của MBA do tính đơn giản của nó cũng như quan hệ trực tiếp giữa mô hình và cấu trúc cách điện MBA. Tuy nhiên nhược điểm chính của cách tiếp cận này là cần phải biết được chính xác cấu trúc hình học của cách điện MBA, đây là điều rất khó. Do vậy, việc đơn giản hóa mô hình X-Y tiếp theo sẽ giúp cho các kỹ sư có thể nghiên cứu được kỹ hơn các điều kiện của cách điện mà không cần quan tâm nhiều đến cấu trúc hình học của nó. Với mục đích này, thì rất cần thiết phải nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số khác trong mô hình X-Y lên phản ứng cuối cùng của hệ thống. Các phân tích này sẽ được trình bày trong phần sau.

#### 3.2.2.1 Ảnh hưởng của độ dẫn điện dầu



Hình 3.12: các thành phần thực và phức của đáp ứng điện môi theo mô hình X-Y đối với giá trị độ dẫn của dầu khác nhau ở 25°C khi  $X=0,2$ ;  $Y=0,15$  và hàm lượng ẩm =0,2%



Hình 3.13: các thành phần thực và phức của đáp ứng điện môi theo mô hình X-Y đối với giá trị độ dẫn của dầu khác nhau ở 65°C khi  $X=0,5$ ;  $Y=0,25$  và hàm lượng ẩm =5%

Độ dẫn điện của dầu phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Do vậy rất cần thiết phải quan sát ảnh hưởng của giá trị độ dẫn điện dầu trong một dải rộng, ở trong tài liệu của chúng ta dải nhiệt độ là từ 25 ° đến 65 °. Theo tiêu chuẩn IEC 6422, độ dẫn điện của dầu cách điện có thể ít hơn 16,5pS/m tại 90 °C[31]. Theo giả thiết nguồn vận hành là 0,7eV [31] (2.27) thì độ dẫn điện tương ứng là 0,1 pS/m ở 25 °C. Do vậy giá trị 0,05 pS/m tại 25 °C (hoặc 1,25 pS/m tại 65 °C) được lấy làm giới hạn thấp hơn của dải độ dẫn điện được lựa chọn. Giới hạn trên của dải là 10<sup>4</sup> pS/m tại 65 °C

(hoặc  $4,10^2$  pS/m tại  $25^\circ\text{C}$ ), giá trị này cao gấp 10 lần so với giới hạn được chấp nhận về độ dẫn điện của dầu thường dùng.

Hình 3.12 cho thấy ảnh hưởng của độ dẫn điện dầu lên phản ứng FDS tại  $25^\circ\text{C}$ , khi hàm lượng độ ẩm trong giấy và trong tấm ván ép của hệ thống cách điện được giữ ở mức thấp nhất. Trong hình vẽ, sự biến thiên của hằng số điện môi và tổn hao được trình bày rõ ràng quan điểm Maxwell- Wagner về một hệ thống song song ảnh hưởng chính đến độ dẫn của dầu và tại cùng một thời điểm thì độ phân tán của các thành phần đệm là không đáng kể. Tuy nhiên, có thể quan sát được rằng khi độ dẫn điện dầu thấp hơn  $4,10^2$  pS/m, thì nó có thể ảnh hưởng đến hằng số điện môi của hệ thống với tần số hơn 100Hz.

Hình 3.13 cho thấy ảnh hưởng của độ dẫn điện dầu tại  $65^\circ\text{C}$ , khi hàm lượng độ ẩm trong giấy và ván ép của hệ thống cách điện được giữ tại mức cao nhất. Do ảnh hưởng đáng kể của sự phân tán tần số thấp trong giấy, ảnh hưởng của độ dẫn điện dầu lên hằng số điện môi tổng của hệ thống là nhỏ hơn khi so sánh với trường hợp trước. Thêm vào đó, độ dẫn điện dầu cũng nằm ở trong cùng một dải, có ảnh hưởng nhỏ đến hằng số điện môi của hệ thống tại tần số trên 100 Hz. Hằng số điện môi tổng  $\varepsilon'$  tại 1 kHz dưới các điều kiện khác được trình bày trong bảng 3.2. Trường hợp 1 và 2 ở trong bảng tương ứng với hai trường hợp đã miêu tả trong hình 3.12 và 3.13. Điều này cho thấy trong cả hai trường hợp thì ảnh hưởng của độ dẫn điện dầu đều nằm trong dải lý thuyết, và có ảnh hưởng một phần đến hằng số điện môi tổng  $\varepsilon'$  tại 1kHz. Sự khác nhau đáng kể của  $\varepsilon'$  trong hai trường hợp được xem là nhân tố chính dẫn đến sự biến thiên của các thông số khác.

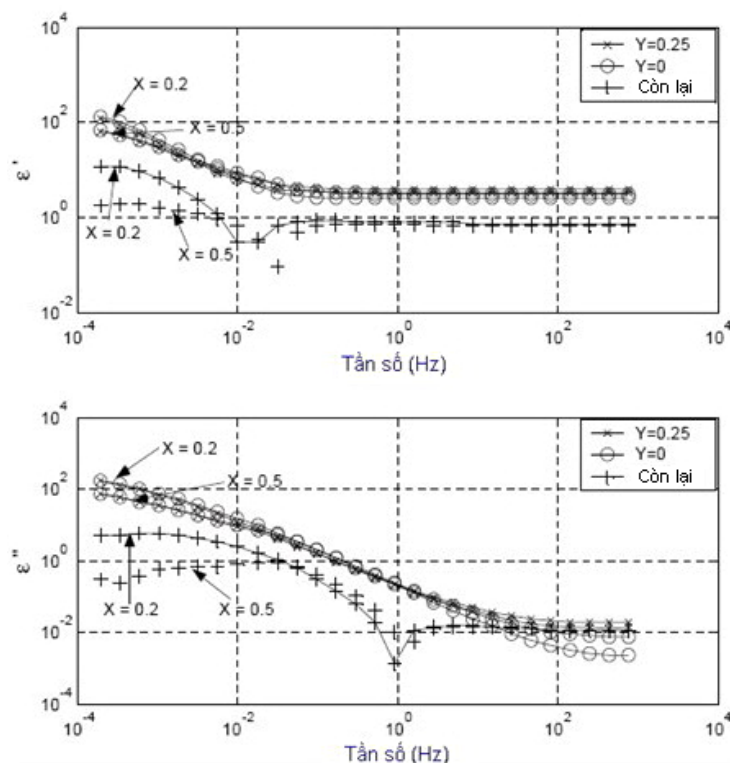
*Bảng 3.2:  $\varepsilon'$  ở 1 kHz dưới các điều kiện khác nhau*

Trường hợp	Độ dẫn $\sigma$ (pS/m)	$\varepsilon'$ ở 1 kHz
Trường hợp 1	0,05	2,66
	4,5	2,66
	400	2,66
Trường hợp 2	1,25	3,67
	112	3,67
	10000	3,68

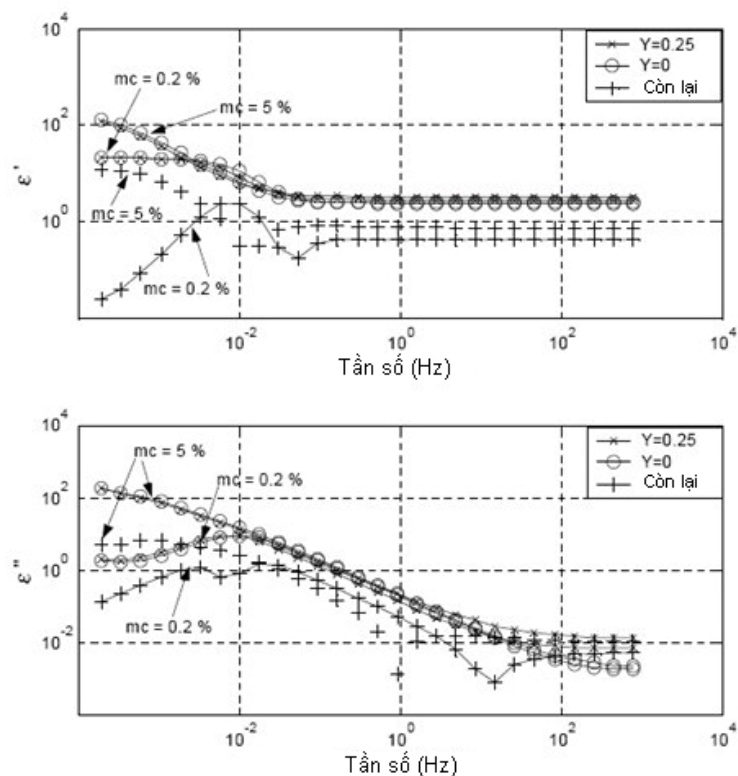
### 3.2.2.2 Ảnh hưởng của các miếng đệm

Theo phân trước, trong một dạng cách điện của MBA lực, phần chu vi bao phủ các miếng đệm có thể thường biến đổi từ 15-25%. Dựa vào thông tin này ta có thể thấy ảnh hưởng lớn nhất của các miếng đệm đến phản ứng điện môi cuối cùng có thể được tính khi  $Y=0,25$ . Do vậy ảnh hưởng của các miếng đệm được nghiên cứu bằng cách so sánh phản ứng điện môi theo hệ thống X-Y với  $Y=0,25$ , và với  $Y=0$ . Ảnh hưởng của các miếng đệm được nghiên cứu dưới các điều kiện khác nhau do phản ứng tổng thì phụ thuộc vào số lượng tấm chắn, hàm lượng độ ẩm, độ dẫn điện dầu và nhiệt độ (hình 3.14 ÷ 3.17). Những hình này cũng trình bày các đường cong thể hiện sự khác biệt giữa hai đường cong phản ứng tương ứng với giá trị  $Y=0,25$  và  $Y=0$ .

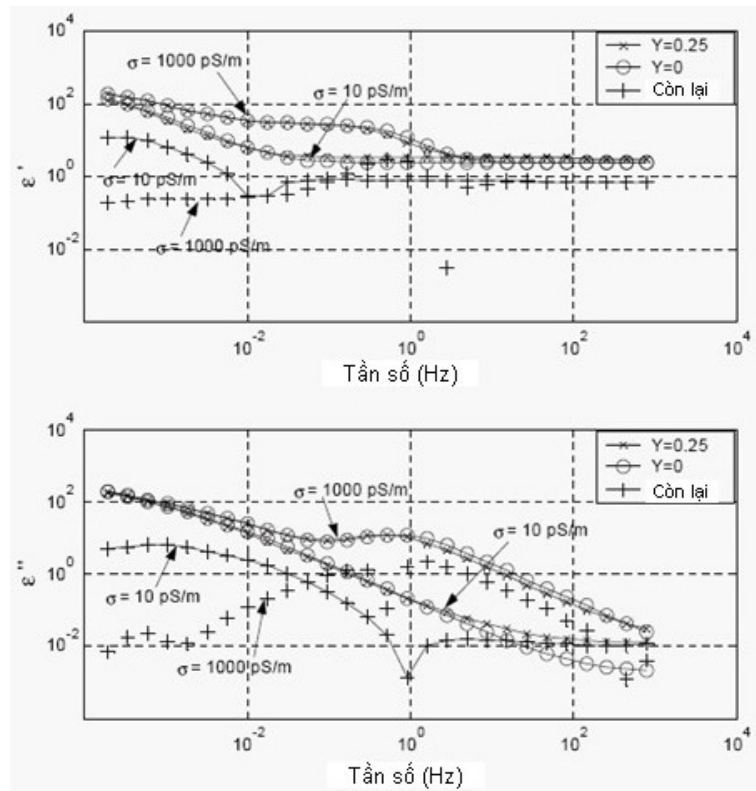
Bảng 3.3 mô tả cách mà các miếng đệm ảnh hưởng đến phản ứng điện môi tổng trong các điều kiện khác nhau, dựa vào kết quả trong hình 3.14-3.17.



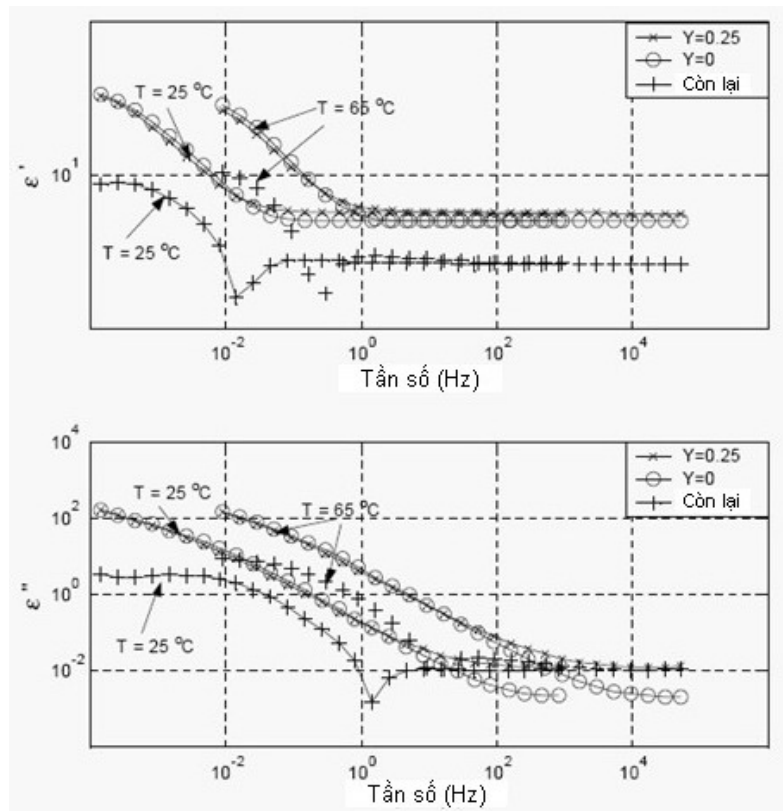
Hình 3.14 ảnh hưởng của các thanh chèn khi số lượng tấm chắn khác nhau



Hình 3.15 ảnh hưởng của các thanh chèn khi độ ẩm khác nhau



Hình 3.16 ảnh hưởng của các thanh chèn đến giá trị độ dẫn của dầu



Hình 3.17 ảnh hưởng của các thanh chèn ở các nhiệt độ khác nhau

Hình số	Tham số chuẩn		Giá trị của các tham số khác mc-%; $\sigma$ -pS/m; T- $^{\circ}$ C	Sai số tương đối (%)		Hệ số điện môi ( $\epsilon$ ) ở 1 kHz		
	Loại	Giá trị		$\epsilon'$	$\epsilon''$	Y=0.25	Y=0	Sai số %
5.10	X	0.2	mc – 5	14	20	3.1	2.5	19
		0.5	$\sigma_{(25^{\circ}\text{C})} - 10$ T – 25	9	19	3.6	3	17
5.11	mc (%)	0.2	X – 0.2	12	33	2.8	2.4	14
		5	$\sigma_{(25^{\circ}\text{C})} - 10$ T – 25	19	30	3.1	2.5	19
5.12	$\sigma_{(25^{\circ}\text{C})}$ (pS/m)	10	X – 0.2	19	30	3.1	2.5	19
		$10^3$	mc – 5 T – 25	10	15	3.1	2.5	19
5.13	T ( $^{\circ}$ C)	25	X – 0.2	19	30	3.1	2.5	19
		65	mc – 5 $\sigma_{(25^{\circ}\text{C})} - 10$	20	35	3.2	2.5	22

**Bảng 3.3 : ảnh hưởng của các thanh chèn dưới các điều kiện khác nhau**

Như đã trình bày trong cả 4 hình bên trong dải lý thuyết của tất cả các thông số nghiên cứu, thì ảnh hưởng của các miếng đệm lên hình dạng của đường cong phản ứng điện môi cuối cùng trên thực tế là không đáng kể. Ảnh hưởng này có thể được giải thích bằng ảnh hưởng của thành phần dầu dẫn nhiều hơn hoặc ảnh hưởng của thành phần đệm ít đi trong mạch song song. Điều này có thể theo dõi kỹ hơn trong hình 3.17, đồ thị phản ứng điện môi với hai giá trị khác nhau của độ dẫn dầu. Trên hình cũng cho thấy rằng khi độ dẫn điện của dầu tăng thì số dư thực tế giảm.

Trong bảng 3.2 , cột tương ứng với các sai số tương đối, cho thấy sai số trung bình do di chuyển các miếng đệm ra khỏi mô hình. Sai số trung bình do các thành phần thực tế của hằng số điện môi luôn nhỏ hơn 20%. Tuy nhiên trong thành phần giả thiết giá trị có thể lên tới 35%.

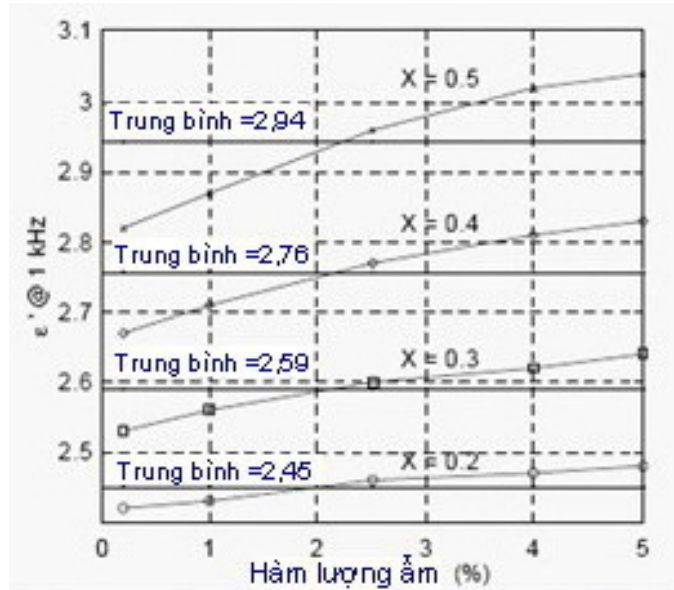
Theo kết quả trong bảng 3.2 , ảnh hưởng cực đại của các miếng đệm lên phản ứng điện môi tổng có thể xuất hiện ở nhiệt độ cao hơn, dù tương ứng với mức tẩm chần, hàm lượng độ ẩm và độ dẫn điện dầu là thấp nhất.

### 3.2.2.3 Sự biến thiên của hằng số điện môi tại 1kHz.

Như miêu tả trong phần trên, độ dẫn điện dầu chỉ ảnh hưởng rất ít lên hằng số điện môi ở tần số trên 100Hz. Hơn nữa, hình 3.17 và bảng 3.2 cũng cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ lên hằng số điện môi tại 1kHz cũng không đáng kể. Công với, trong cột bên phải của bảng 3.3 cho thấy sai số ước lượng của hằng số điện môi tại



1kHz khi các miếng đệm bị lấy ra. Điều này cho thấy rằng sai số này luôn dưới 22%.



Hình 3.18 : sự biến thiên  $\epsilon'$  tại 1kHz theo hàm lượng độ ẩm trong giấy và số lượng tấm chắn  $Y=0$

Hai thông số khác ảnh hưởng đến hằng số điện môi tại 1kHz là hàm lượng độ ẩm trong giấy và số lượng tấm chắn trong cách điện. Hình 3.18 cho thấy ảnh hưởng của hai thông số này bên trong phạm vi nghiên cứu của từng thông số.

Như thể hiện trong hình 3.18, bất cứ sự biến thiên nào của  $\epsilon'$  tại 1kHz theo hàm lượng độ ẩm thì đều phụ thuộc vào số lượng tấm chắn. Khi  $X=0,5$ , phản ứng điện môi của các tấm chắn ảnh hưởng lớn nhất đến phản ứng tổng. Điều này cho thấy sự biến thiên lớn nhất của  $\epsilon'$  tại 1kHz theo hàm lượng độ ẩm, giá trị này là 0,22. Bảng 3.4 cho thấy sự biến thiên của  $\epsilon'$  tại 1kHz như là một giá trị phần trăm của  $\epsilon'$  thấp nhất tại 1kHz ứng với mỗi giá trị của  $X$ . Do vậy chúng ta có thể giả thiết rằng  $\epsilon'$  tại 1kHz không biến thiên theo hàm lượng độ ẩm với một giá trị  $X$  xác định và bằng với giá trị trung bình của  $\epsilon'$  tại 1kHz (hình 3.18), sau đó thì giá trị sai số phần trăm lớn nhất ở trong khoảng 4% (bảng 3.5)

Bảng 3.4 : sự thay đổi  $\epsilon'$  (%) tại 1kHz tương ứng với các giá trị  $X$  khác nhau

$X$	$\Delta\epsilon'_{1\text{ kHz}}$	$(\Delta\epsilon'_{1\text{ kHz}} * 100)/\min(\epsilon'_{1\text{ kHz}})$
0.2	0.06	2.5
0.3	0.11	4.3
0.4	0.16	6.0
0.5	0.22	7.8

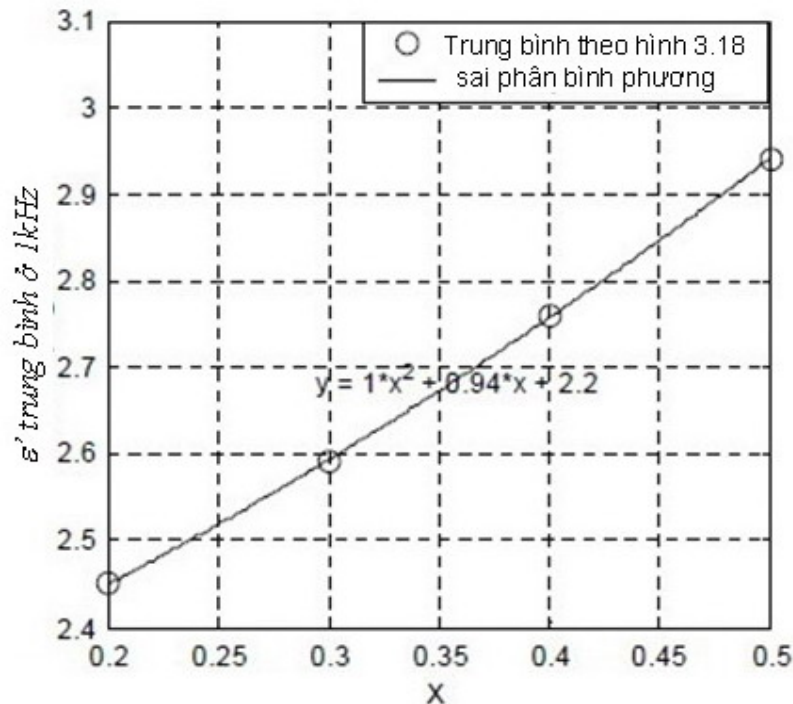
Bảng 3.5 : sai số lớn nhất của  $\varepsilon'$  tại 1 kHz theo mỗi giá trị X

X	T. bình $\varepsilon'_{1 \text{ kHz}}$	Sai số cực đại %
0.2	2.45	1.2
0.3	2.59	2.4
0.4	2.76	3.4
0.5	2.94	4.3

Sự biến thiên của  $\varepsilon'$  trung bình tại 1kHz với X được mô tả trong hình 3.19. Các điểm có được từ tính toán là các điểm trên đồ thị bậc hai theo phương trình sau

$$y = x^2 + 0,94x + 2,2 \quad (5.18)$$

Phương trình này có thể giúp tính toán dễ dàng  $\varepsilon'$  trung bình tại 1kHz với X xác định.



Hình 3.19: sự thay đổi  $\varepsilon'$  tại 1kHz tương ứng với số lượng tấm chắn

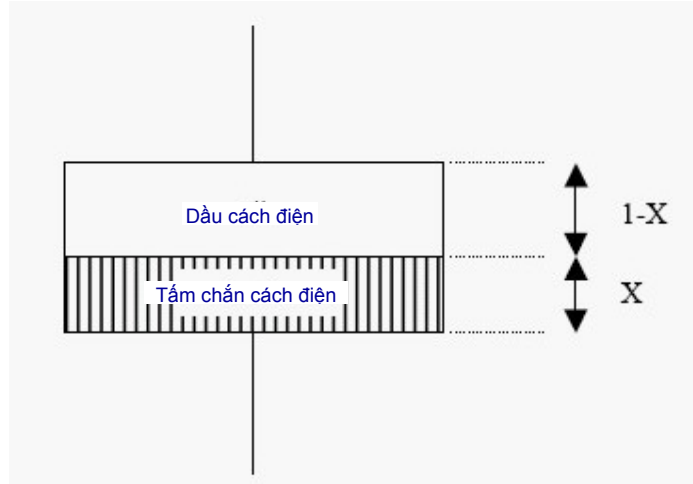
#### 3.2.2.4 Kết luận

Các phân tích trên đã phát hiện ra rằng ảnh hưởng của các miếng đệm lên phản ứng điện môi tổng của hệ thống X-Y là tương đối thấp và hằng số điện môi  $\varepsilon'$  tại 1kHz được xác định chủ yếu bởi số lượng các tấm chắn. Do vậy khi thiếu một cấu trúc chi tiết về cách điện của MBA thì có thể giảm cách gọi mô hình X-Y thành mô hình X đơn, trong khi giữ sai số thực tế ở một giới hạn hợp lý.



### 3.2.3. Mô phỏng sử dụng mô hình X

Phản ứng điện môi của hệ thống trình bày trong hình 3.20 có thể được mô tả kỹ bởi độ dẫn điện và hằng số điện môi của dầu, hàm lượng độ ẩm của giấy, số lượng tấm chắn và nhiệt độ. Trong các thông số này, thì chỉ có hàm lượng độ ẩm trong giấy và số lượng tấm chắn là chưa biết, trong khi có thể thực hiện phép đo độ dẫn điện dầu.



Hình 3.20: mô hình X cách điện MBA đơn giản

Phản ứng điện môi của mô hình X có thể được viết ra như sau:

$$\hat{\varepsilon}_{X_{model}}(\omega, T) = \frac{1}{1-X} + \frac{\hat{\varepsilon}_{barrier}}{X} \cdot \frac{1}{2,2 - \frac{j\sigma_{oil}(T)}{\varepsilon_0\omega}} \quad (5.19)$$

Đẳng thức (2.27) được dùng để tính toán độ dẫn tại nhiệt độ  $T$  từ phép đo độ dẫn tại một nhiệt độ đã biết. Các thông số phản ứng điện môi của các tấm ván ép tại một nhiệt độ cho trước cũng đã được biến đổi thành nhiệt độ  $T$  bằng công thức (2.26).

Trong việc mô phỏng công nghệ đã đề xuất, giả thiết có một tỷ lệ tấm chắn ban đầu, sau đó (5.18) được dùng để tính  $\varepsilon'$  tại 1 kHz tương ứng và giá trị này được dùng để tính dung lượng hình học của MBA.

$$C_0 = \frac{C'_{1kHz,measured}}{\varepsilon'_{1kHz}} \quad (5.20)$$

Đây là cách để biến thông số điện dung tổng thành hằng số điện môi tổng.

Rồi sau đó sai số tỷ lệ giữa hằng số điện môi tổng hợp của mô hình và MBA được tối thiểu hóa bằng cách thay đổi hàm lượng độ ẩm trong giấy. Sự tối thiểu hóa

sai số này được thực hiện bằng cách sử dụng phần mềm MATLAB. Tiếp tục thực hiện với các giá trị khác nhau của X cho tới khi tối thiểu hóa được sai số tỉ lệ.

### 3.2.4. Mô phỏng sử dụng hàm phân phối đáp ứng điện môi

Một công nghệ mô phỏng khác có thể được sử dụng để mô hình hóa cách điện MBA mà không cần biết đến các thông tin về cấu trúc hình học được giới thiệu sau đây. Hệ thống cách điện tổng hợp được mô hình hóa sử dụng sự phân phối thời gian phục hồi. Trong mỗi sự hồi phục Deye có thể được thay thế bằng một loạt các mạch RC tương đương. Do đó, hệ thống cách điện được biểu thị như hình 3.10

Từ đó Điện dung phức hợp  $\hat{C}(\omega)$  của cách điện được viết ra như sau:

$$\begin{aligned}\hat{C}(\omega) &= C_0 \left[ \varepsilon_{hf} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_i}{1 + j\omega \tau_i} - j \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} \right] \\ &= C_0 \left[ \varepsilon_{hf} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_i}{1 + \omega^2 \tau_i^2} - j \left\{ \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_i \tau_i \omega}{1 + \omega^2 \tau_i^2} \right\} \right] \\ &= C_{hf} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta C_i}{1 + \omega^2 \tau_i^2} - j \left\{ \frac{G}{\omega} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta C_i \tau_i \omega}{1 + \omega^2 \tau_i^2} \right\}\end{aligned}\quad (5.21)$$

Trong đó

$C_{hf}$ - là điện dung của cách điện tại tần số cao nhất đo được

$\Delta C_i$ - là độ bền của quá trình phục hồi tương ứng với thời gian phục hồi  $\tau_i$

$G$  - là độ dẫn điện DC của cách điện

Khi có dữ liệu điện dung phức hợp đo được ( $\hat{C}(\omega)_m$ ), thì công nghệ được mô tả trong phần sau đây có thể được dùng để tính toán các thông số chưa biết trong công thức (5.21)

Bằng cách xem xét thành phần thực tế của điện dung phức hợp theo mô hình và phép đo.

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta C_i}{1 + \omega^2 \tau_i^2} = \hat{C}(\omega)_{m \text{ real}} - C_{hf} \quad (5.22)$$

Hệ số  $\tau_i$  và  $\Delta C_i$  được xác định bởi các thuật toán liên tục cho tới khi tìm được giá trị nhỏ nhất. Trong bước đầu tiên của thuật toán này,  $n$  các hằng số thời gian bằng sự phân phối trong một tỉ lệ thuật toán đã được chọn trước. Các giá trị cực đại và cực tiểu của  $\tau_i$  đã được chọn như là số nghịch đảo của giá trị cực đại và cực tiểu của tần số góc tương ứng.

$$\begin{aligned}\tau_{\min} &= \frac{1}{\omega_{\max}} \\ \tau_{\max} &= \frac{1}{\omega_{\min}}\end{aligned}\tag{5.23}$$

Dùng MatLab 6 để tính toán độ bền của sự phục hồi  $\Delta C_i$ . Trong suốt quá trình tính toán ta chọn giá trị  $\tau_i$  và thay đổi bên trong dải lý thuyết để đạt được giá trị phù hợp nhất

Sau đó (5.24) được dùng để xác định độ dẫn điện DC của cách điện bằng cách sử dụng thông số tổn hao ( $\hat{C}_{m\text{ imag}}$ ).

$$G = \hat{C}_{m\text{ imag}} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta C_i \tau_i \omega^2}{1 + \omega^2 \tau_i^2}\tag{5.24}$$

## **CHƯƠNG 4: PHÂN TÍCH MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM TRÊN THỂ GIỚI ĐỐI VỚI MBA**

Ở chương này, trình bày nghiên cứu N<sup>o</sup>: 465L của đại học công nghệ Thụy Điển đối với các máy biến áp thuộc các công ty điện lực của Srilanka. Các tác giả đã sử dụng hệ thống cơ sở dữ liệu thử nghiệm trong phòng thí nghiệm và đo đạc tại hiện trường cho việc đánh giá, so sánh các phương pháp đo nhằm xác định độ lão hóa cách điện của máy biến áp.

### **4.1. GIỚI THIỆU CHUNG**

#### **4.1.1 Máy biến áp của điện lực Ceylon**

Ủy ban điện lực Ceylon (CEB), Srilanka, độc quyền về nguồn và truyền tải trên hòn đảo này. Khoảng hơn 90% nguồn thuộc sở hữu của CEB và số còn lại thuộc các nhà sản xuất điện độc lập khác. Tuy nhiên sự phân phối được chia sẻ cùng với công ty điện lực Lanka và chính quyền địa phương (LA). Hơn 15 nhà máy điện công suất trung bình (cao nhất là 210MW), khoảng hơn 30 trạm trung gian (chủ yếu là 132/33kV), hơn 100 trạm trung gian sơ cấp (33/11kV) và hơn 10000 trạm hạ áp (33, 11kV/400V) đều thuộc hệ thống CEB, hàng năm nhận được 6500GWh từ các nguồn. Vào cuối năm 2000, công suất lắp đặt là 2000MW. Cho đến những năm 2000 thì thủy điện vẫn chiếm thành phần chủ yếu, hơn 65% tổng nguồn. Lakshapana và Mahaweli là hai nhà máy chính phát lần lượt là 40 và 51% tổng công suất của thủy điện. Trong đó Lakshapana là nhà máy lâu đời nhất và bắt đầu được vận hành từ 1952 [31].

Trong tất cả các trạm nguồn và trạm trung gian ở trên thì có nhiều hơn 150 MBA các loại với công suất và mức điện áp khác nhau, cũng có các nhà sản xuất, và số năm vận hành khác nhau đã được lắp đặt. Hơn 200 MBA có công suất nhỏ hơn 10MVA được lắp đặt tại các trạm trung gian sơ cấp. Một số các MBA phân phối do địa phương sản xuất cũng đang vận hành trong hệ thống.

#### **4.1.2 Nghiên cứu các MBA nguồn tại CEB**

Nghiên cứu N<sup>o</sup>: 465L tập trung chính vào các MBA nguồn trong hai nhà máy Lakshapana và Mahaweli. Bảng 4.1 cung cấp thông tin theo từng năm của từng nhà máy cũng như công suất của tất cả các MBA đang vận hành ở hai nhà máy này. Theo bảng thì số năm vận hành và công suất của các MBA này là ở khoảng 2-50 năm và 2-50MVA. Trong quá trình nghiên cứu, không thể tiến hành đo ở tất cả các MBA. Bằng cách sử dụng các tài liệu từ bộ phận bảo trì của CEB tác giả chọn ra một số MBA để tiến hành đo và trình bày trong bảng 4.2.

MBA từ T1 đến T11 được đặt trong 3 trạm nguồn của nhà máy Lakshapana. Những máy còn lại đặt ở Mahaweli. Các thông số của nhà máy hàng năm được trình bày trong bảng 4.2 được thực hiện năm 1999.

*Bảng 4.1: MBA nguồn trong hai nhà máy Lakshapana và Mahaweli*

	Năm sản xuất	Công suất	Loại	Số MBA
Nhà máy Lakshapana	1963	11	Một pha	7
	1965	18	Một pha	7
	1974	24	Một pha	7
	1985	26/38	Ba pha	1
	1987	28.5/38	Ba pha	1
	1989	13	Một pha	3
	~1950	5	Một pha	6
Nhà máy Mahaweli	1975	27	Ba pha	1
	1976	50	Ba pha	1
	1982	30	Một pha	9
	1984	32	Một pha	10
	1984	34.5	Ba pha	2
	1985	27	Một pha	7
	1985	2	Ba pha	2
	1990	27	Ba pha	1
	2000	30	Một pha	1

*Bảng 4.1: MBA nguồn trong hai nhà máy Lakshapana và Mahaweli*

#### 4.1.2.1. Bảo trì MBA nguồn

##### *Công việc bảo trì*

Với chi phí thấp, độ tin cậy, an toàn và vận hành hiệu quả của các MBA lực thì việc bảo trì thường xuyên là tốt nhất. Nó giúp đưa ra các cảnh báo trước khi sự cố xảy ra.

Nói chung, tất cả các chỉ định của nhà sản xuất và tần suất thực hiện của mỗi công việc cần thiết để duy trì chất lượng của MBA. Do đó công việc bảo trì thường xuyên được thực hiện trong tất cả các MBA của CEB, từ trạm này đến trạm tiếp theo. Ví dụ trong bảng 4.3 cho thấy lịch bảo trì thường xuyên của MBA T12 và các MBA nguồn khác trong cùng một trạm.

*Bảng 4.2: Các dạng MBA trong đối tượng nghiên cứu*

Số hiệu máy	Năm sản xuất	Nhà chế tạo	Công suất (MVA)	Điện áp (kV)	Số pha	Đánh giá (%)
T 1-7	1965	Canadian GE	18	12/132	1 pha	70
T 8-10	1963	Le materiel electrique France	11	11/132	1 pha	25
T 11	1974	Alsthom	24	12/132	1 pha	45
T 12	1984	GEC	32,5	12,5/220	1 pha	45
T 13	1990	Hyosung, Korea	27	12,5/132	3 pha	50

Như đã thấy trong bảng 4.3 có hai thử nghiệm cách điện chính được thực hiện tại hệ thống cách điện MBA là đo điện trở cách điện (IR) và đo độ bền điện môi của dầu. Một thử nghiệm quan trọng khác là phân tích hóa học dầu cách điện cũng nên được thực hiện định kỳ. Tuy nhiên tại CEB thì phân tích này không được thực hiện định kỳ do thiếu các nguồn lực. Do vậy việc phân tích này chỉ được thực hiện khi các phép đo đã chỉ ra chất lượng xấu của cách điện.

#### ***Sự cải thiện tình trạng cách điện***

CEB sở hữu những công cụ để lọc được dầu MBA. Thường thì công việc này được thực hiện khi có kết quả của các phép đo như trên (IR, phân tích hóa học) không nằm trong dải cho phép. Việc lọc dầu để loại bỏ các hàm lượng thừa ra khỏi cách điện MBA. Đồng thời loại bỏ luôn các hạt bụi bẩn và bọt khí. Tuy nhiên với khả năng lọc thực tế thì phải mất ít nhất 10 ngày lọc liên tục thì mới cải thiện được tình trạng của cách điện MBA. Thời gian lọc phụ thuộc chính vào chất lượng cách điện MBA trước khi lọc và đặc tính kỹ thuật của thiết bị lọc.

Các bước thực hiện (tháng)	Nội dung công việc
1	Kiểm tra dầu và sự xuất hiện nước trong dầu; kiểm tra kỹ MBA xem có bị chảy dầu hay không hoặc tồn tại hay không các hiện tượng bất bình thường; kiểm tra mức dầu trong ống báo mức dầu; kiểm tra độ sạch toàn bộ MBA
3	Kiểm tra trạng thái hạt hút ẩm ở các vị trí thông hơi của bình chứa dầu
13	Đo điện trở cách điện giữa các cuộn dây, giữa cuộn dây với vỏ; đo độ bền cách điện của dầu khi dầu đang còn nóng; kiểm tra tác động của toàn bộ sơ đồ (không tải); kiểm tra thời gian tác động Role; tra mỡ các ổ bi; kiểm tra điện trở quạt gió /động cơ bơm; đo thời gian khởi động của động cơ; đo góc tổn hao của sứ xuyên; kiểm tra trạng thái sơn; kiểm tra trạng thái ổ bi mô tơ.

*Bảng 4.3: Lịch bảo dưỡng theo kế hoạch MBA T12*

#### **4.1.2.2. Ghi chép thông tin**

Việc ghi lại chính xác các dữ liệu và các thông tin khác là yếu tố chủ yếu để xác định tình trạng của MBA đang vận hành. Tuy nhiên hệ thống ghi hiện nay của CEB không đạt được tiêu chuẩn hiện hành. Do đó, trong tài liệu này rất khó để tìm được thông tin về các lần đo lường trước đây của tất cả các MBA. Ví dụ trong bảng 4.4 chỉ ghi lại những lần đo trước đây của MBA T13

Theo như những dữ liệu đưa ra trong bảng 4.4, tình trạng cách điện của MBA này giảm nghiêm trọng trong suốt khoảng thời gian từ 1991-2002. Tuy nhiên các nhân tố khác ảnh hưởng đến phép đo này như là tình trạng của chổi than, tình trạng áp suất trong suốt quá trình đo cũng như các thiết bị đo không được làm sạch. Do đó, rất khó để có được kết luận chắc chắn khi sử dụng các kết quả đo này.

Bảng 4.4: Kết quả đo đặc MBA T-13 (LT- Cuộn điện áp thấp; HT- Cuộn điện áp cao; E- Vỏ máy.)

Ngày tháng	IR (GΩ)			PI		
	LT – E	HT – E	HT – LT	LT – E	HT – E	HT – LT
1991.11.22	5	15	---	3	---	---
1992.07.31	4	5	7	1.8	2	1.4
1993.11.25	1.7	2.1	7	1.5	1.7	---
1995.05.30	1.5	0.9	4	2.3	1.4	1.9
1995.11.24	2.5	0.9	5	1.2	1.3	1.2
1996.12.03	1.8	0.9	5	2.2	1.5	1.8
1997.12.08	1.3	0.7	3	2.1	1.4	2.3
1999.01.13	3.8	0.6	1.4	2	1.5	1.8
2002.09.16	0.8	0.4	0.9	1.5	1.3	1.8

--- IR lớn hơn so với nhiệt độ của thiết bị.

#### 4.1.2.3. Các trường hợp thay thế MBA nguồn

Có tổng cộng 4 trường hợp thay thế MBA nguồn được ghi lại trong báo cáo của Laxapana và Mahaweli :

- Một MBA nguồn 27MVA 12,5/135kV bị cháy vào năm 1989 do cuộc tấn công của một nhóm du kích. Sau đó được thay thế bằng MBA T13
- Một MBA 30MVA 13,8/132/220 kV bị cháy do sự cố cách điện sau vận hành 16 năm. Những nghiên cứu thực hiện sau khi sự cố xảy ra đã xác định là tất cả các cuộn dây đều bị phủ một lớp cacbon dày. Do vậy, một trong những lý do dẫn đến sự cố này có thể là các sản phẩm gây ô nhiễm trên OLTC. Sau khi nghiên cứu đã quyết định thay thế bằng một MBA mới bởi vì việc sửa chữa lại MBA cũ là quá đắt đỏ.
- Một MBA 3 pha 13 MVA 11/132 kV được thay thế năm 1989. Nguyên nhân chính là tuổi thọ của MBA (khoảng 50 năm) cũng như rất nhiều sự cố được ghi lại.
- 6 MBA 5MVA khác trong một trạm cũng được thay thế trong một dự án phát triển. Tương tự như trong trường hợp trước, nguyên nhân chính là do tuổi thọ của MBA (vận hành từ 1958) và nhiều sự cố xảy ra.

#### 4.1.3. Nghiên cứu MBA phân phối của CEB

Hệ thống phân phối của CEB bao gồm hai cấp điện áp chính là trung áp (33/11kV) và hạ áp (415V). Vì vậy hầu hết các MBA phân phối đều vận hành tại 33kV, 11kV và 415V. Do sự tăng nhanh của nhu cầu điện và muốn đạt được một hệ thống tin cậy hơn, phần lớn hệ thống 11kV hiện nay đã được thay thế bằng hệ thống 33kV.

Các MBA phân phối chủ yếu là 33/0,4 kV (công suất nhỏ hơn 500kVA). CEB không có một quá trình bảo trì định kỳ đối với các MBA này. Một khi các sự cố xảy ra trong MBA phân phối thì sẽ thay thế bằng một cái mới, cái cũ sẽ được gửi về các nhà máy để thực hiện công tác bảo dưỡng. Bảng 4.5 cho thấy chi tiết của một số MBA phân phối được lựa chọn để nghiên cứu trong tài liệu này.

Số hiệu máy	Năm sản xuất	Nhà chế tạo	Công suất (kVA)	Điện áp (kV)	Vector
DT 1	1974	Mitsubishi	500	33/0,4	Dyn11
DT 2	1981	BBC	200	33/0,4	Znyn11
DT 3	1996	Lanka Transformers	250	33/0,4	Dyn11

Bảng 4.5: một số dạng MBA phân phối thuộc đối tượng NC

Hiệu quả của quá trình lọc dầu trong MBA DT1 được nghiên cứu bằng cách thực hiện các phân tích dầu trên các mẫu dầu và đo FDS trên MBA, trước và sau khi lọc.

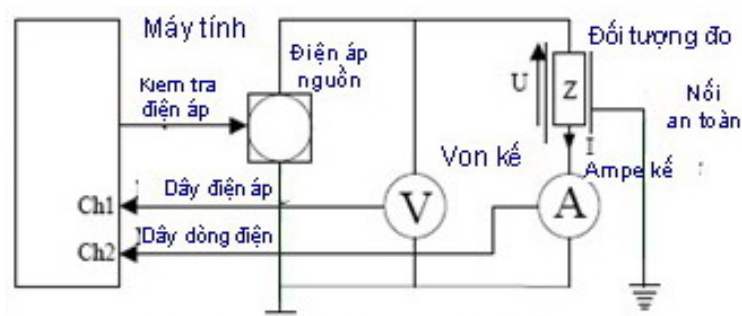
Với danh sách MBA trên, máy DT3 chưa bao giờ được hoạt động còn hai máy khác vẫn đang vận hành. Do thiếu việc ghi chép nên rất khó để tìm các thông tin về việc đo lường trước hoặc phân tích các MBA này trước đây.

## 4.2. PHƯƠNG PHÁP ĐO

### 4.2.1. Dụng cụ cho những phép đo đặc tính điện môi

Hai phương pháp đo FDS và PDC được sử dụng cho những phép đo đặc tính điện môi:

Sử dụng hệ thống thiết bị đo IDA 200 cho những phép đo FDS. Hình 4.1 là một sơ đồ của dụng cụ đo này.



Hình 4.1 Sơ đồ hệ thống đo phổ điện môi miền tần số của IDA 200

Thường sử dụng những phép đo không nối đất khi đo đặc MBA. Thùng dầu được nối tới điện cực bảo vệ. Các điện cực Ch1 và Ch2 trong bảng sử lý tín hiệu số (DSP) cho phép đo biên độ và pha của điện áp đặt và dòng điện tổng hợp tương ứng. Sau đó điện dung phức của đối tượng đo được sử dụng để tính toán theo (2.16)

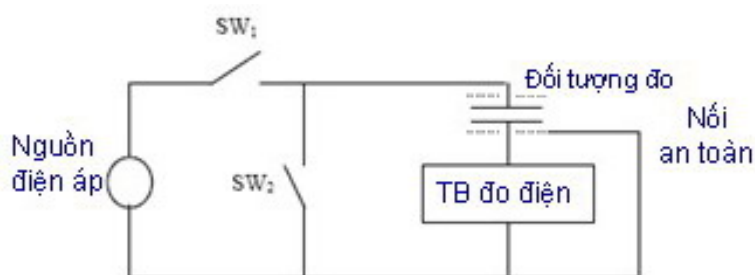


Đặc tính chính của IDA 200 trong bảng 4.6:

*Bảng 4.6 Đặc tính thiết bị IDA 200*

Thông số	Giá trị
Điện áp nguồn	1 – 0-10 V <sub>peak</sub> 2 – 0-200 V <sub>peak</sub>
Tần số	0.1 mHz – 1kHz
Dòng điện	0-50 mA <sub>peak</sub>

Phương pháp đo PDC được thực hiện ở điều kiện trong phòng thí nghiệm. Một đồng hồ đo điện tử A Keithley đã được sử dụng cho những phép đo này. Hình 4.2 Sơ đồ thiết lập phép đo điện hình PDC



*Hình 4.2 Sơ đồ thiết lập phép đo điện hình PDC*

Ở đồng hồ đo đặt thời gian đồng bộ cho bộ chuyển đổi A/D của những phép đo dòng điện được đặt ở 20 micro giây, thời gian này phù hợp cho việc giảm ảnh hưởng nhiễu, ngay cả ở mức đo với dòng điện nhỏ nhất. Trong suốt những phép đo, thùng dầu đã được cách ly từ mặt đất và được nối tới điện cực bảo vệ. Những chế độ đặt của đồng hồ đo ví như đầu cuối điện thế thấp của nguồn điện được nối bên trong tới đầu cuối của đồng hồ đo. Cũng như vậy, khi nguồn điện áp đã được ngắt ra, hai đầu cực của nó được ngắn mạch bên trong. Với đặc tính này, cho phép thực hiện những phép đo dòng phân cực và khử phân cực mà không sử dụng thêm công tắc đóng cắt.

#### 4.2.2. Giới thiệu thiết bị đo IDAX-206



Hình 4.2a: thiết bị IDAX-206

IDAX là 1 trong những thiết bị hiện đại nhất để chẩn đoán cách điện dựa trên cơ sở phương pháp phổ điện môi, phương pháp này cho đến thời gian gần đây cũng mới chỉ sử dụng được trong phòng thí nghiệm. IDAX là loại thiết bị đầu tiên cho phép hiện thực hoá phương pháp này trong điều kiện thực tế và sử dụng nó trong nền công nghiệp của nhiều nước khác nhau trong khoảng 10 năm trở lại đây [35].

### Công dụng:

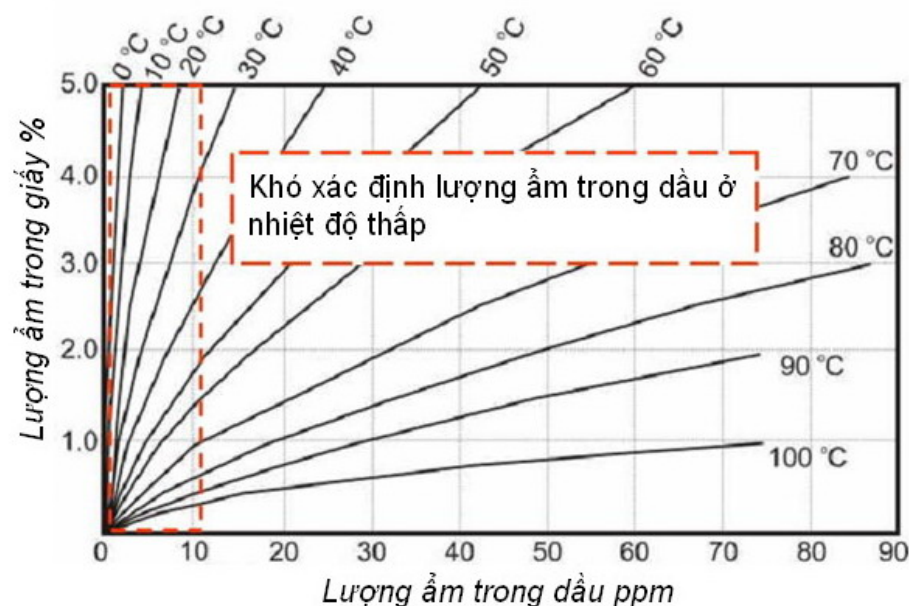
Một trong những công dụng quan trọng nhất của IDAX là xác định sự già hoá hay là lượng ẩm chứa trong cách điện MBA, bởi vì sự tồn tại của độ ẩm trong cách điện sẽ làm tăng nhanh sự già hoá của chúng.

IDAX cho khả năng đánh giá tin cậy độ ẩm sau 1 lần thử nghiệm. Thử nghiệm này có thể được thực hiện ở nhiệt độ bất kỳ nào của thiết bị được thử nghiệm [35].

### Nước ở trong dầu và giấy cách điện:

Đánh giá hàm lượng ẩm trong cách điện MBA dựa trên cơ sở thử nghiệm các mẫu dầu là 1 điều rất khó khăn. Bởi vì, luôn tồn tại sự chuyển hoá độ ẩm từ các loại cách điện cứng (giấy) vào dầu và ngược lại khi có sự thay đổi nhiệt độ MBA. Một mẫu dầu bất kỳ dùng để thử nghiệm cần phải được lấy ở 1 nhiệt độ tương đối cao, khi MBA ở trạng thái cân bằng. Tuy nhiên, đó lại là trạng thái không bình thường của MBA dẫn đến có thể đưa ra đánh giá thiếu chuẩn xác.

Hình 4.2.1 cho thấy: Sự khác nhau đáng kể về lượng ẩm trong giấy cách điện 0,5% và 3%, tương ứng với sự chênh lệch không lớn 1 và 4 PPM trong mẫu dầu ở nhiệt độ 20<sup>0</sup> C.



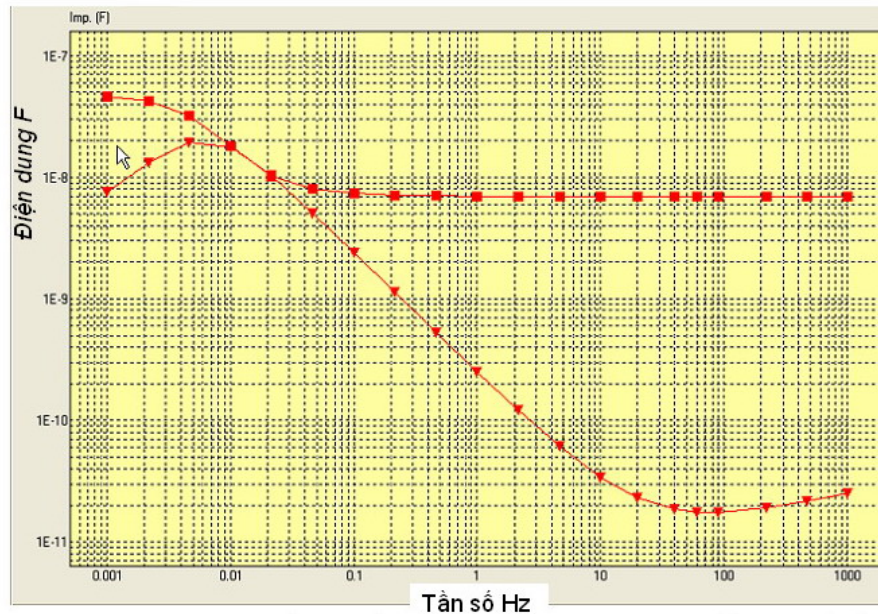
Hình 4.2.1: Lượng ẩm trong dầu và giấy khó xác định ở nhiệt độ thấp do độ chính xác kém.

### Thử nghiệm:

Tổn hao điện môi hay là hệ số công suất phụ thuộc vào tần số và nhiệt độ, khi đưa tín hiệu thử nghiệm với bước tần số 1 kHz ÷ 0,01 Hz và ghi lại kết quả ở từng điểm sau đó xây dựng đường cong hình 4.2.2.

Đường cong này phản ánh đặc tính cách điện của vật liệu và sử dụng để dùng cho các phân tích tiếp theo.

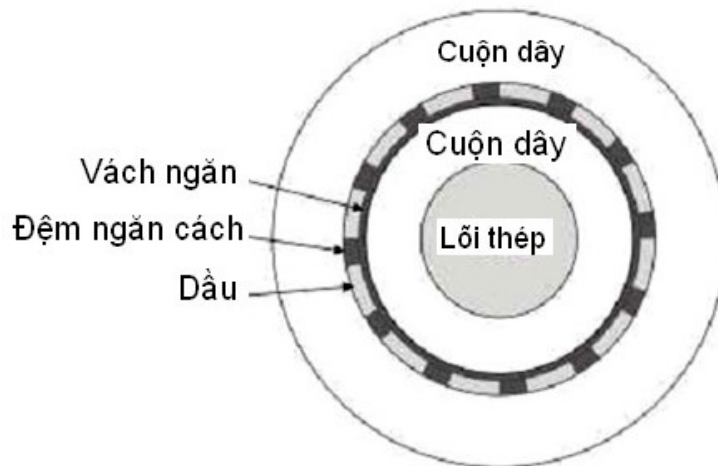
Nhiệt độ của dầu được ghi lại để có được các kết quả tin cậy.



Hình 4.2.2: Đường cong hệ số công suất - ở dạng phụ thuộc vào điện dung và tổn hao do tần số

### Mô hình.

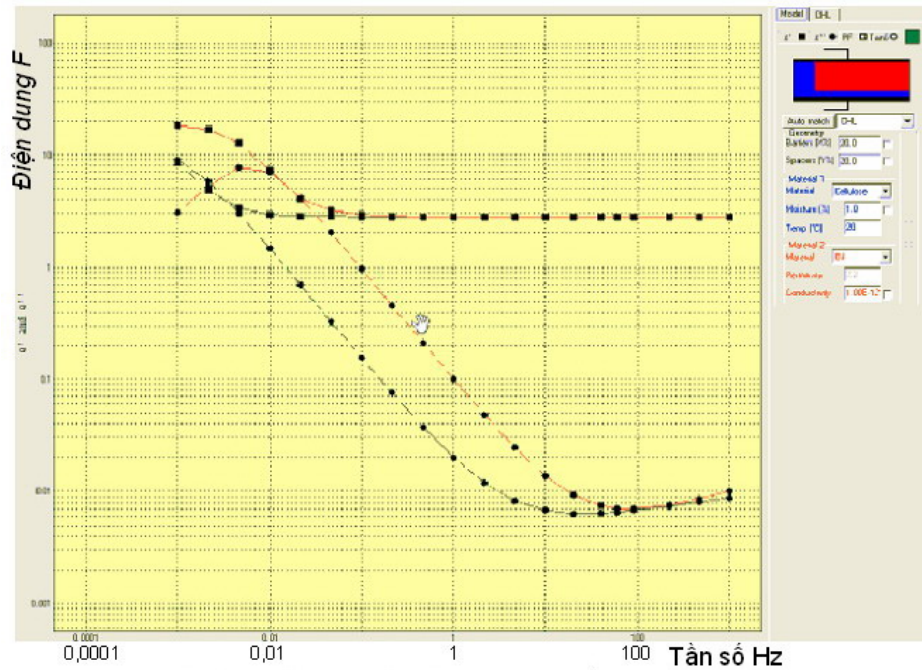
Cách điện giữa các cuộn dây của MBA cấu tạo bởi vách ngăn, đệm ngăn cách và kênh dầu để làm mát (Hình 4.2.3).



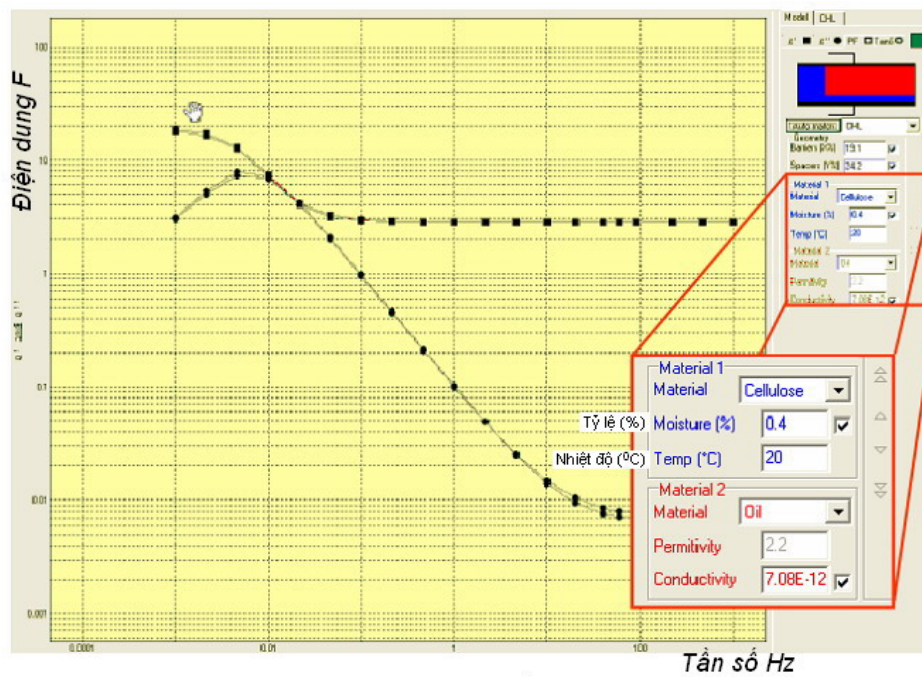
Hình 4.2.3: Cấu trúc cách điện MBA

Mô hình cho phép thay đổi tất cả các thông số cách điện đối với mô hình hình học bất kỳ. Và sử dụng công thức đối với sự phụ thuộc nhiệt độ của vật liệu. Chương trình lập trình của thiết bị IDAX tạo ra các đường cong mẫu và so sánh chúng với đường cong đo đạc cho tới khi nhận được sự trùng hợp cao nhất. Kết quả cuối cùng đưa ra tỷ lệ phần trăm độ ẩm trong giấy cách điện ở dạng các đại lượng riêng biệt về độ dẫn của dầu (Hình 4.2.4 và 4.2.5).





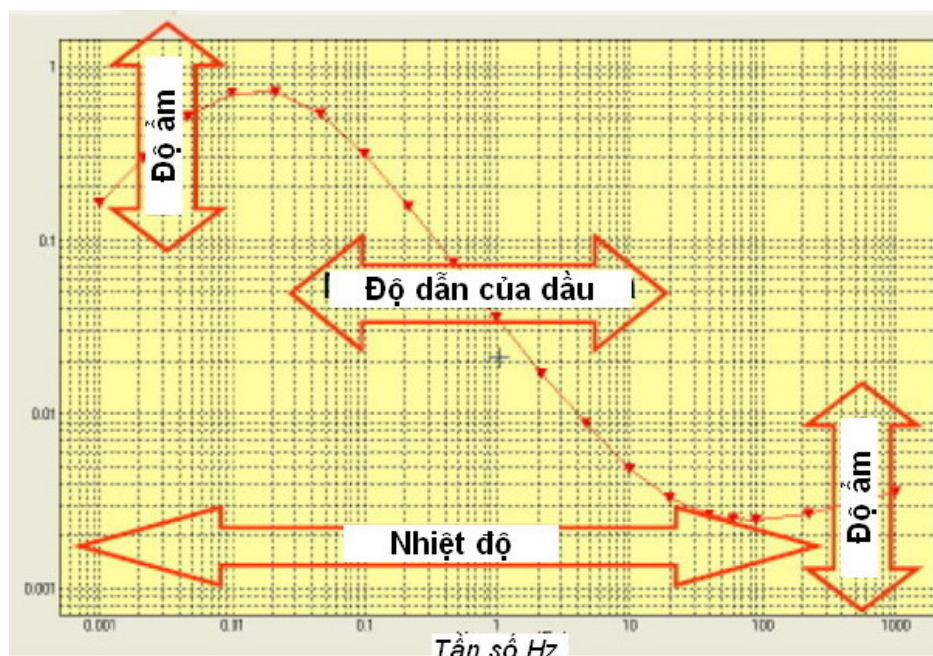
Hình 4.2.4: Trước khi so sánh. Đường xanh – mẫu; đường đỏ – đo đạc



Hình 4.2.5: Sau khi so sánh. Kết quả: 0,4% ở 20°C

### Đường cong này để làm gì

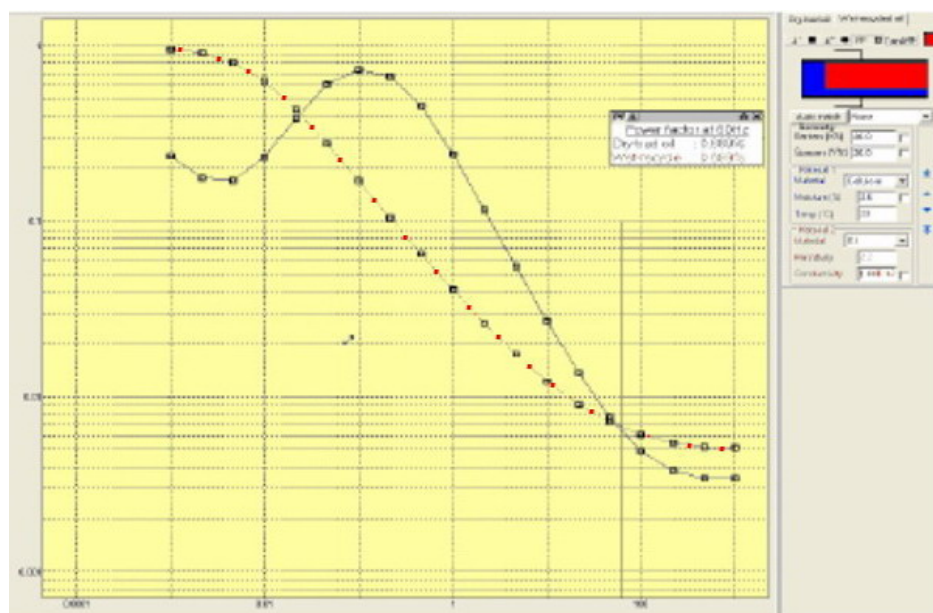
Nguyên tắc chung có thể hiểu tóm tắt là: Độ ẩm “nhìn thấy” ở các tần số cao nhất và thấp nhất. Độ dẫn của dầu ở tần số trung bình, còn nhiệt độ chuyển dịch đường cong tương ứng, hoặc sang phải hoặc sang trái (hình 4.2.6).



Hình 4.2.6: Sự ảnh hưởng của độ dẫn dầu và độ ẩm

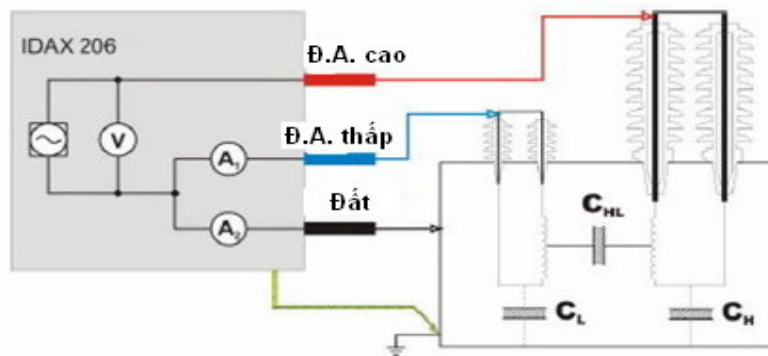
Phương pháp thử nghiệm truyền thống hệ số công suất đưa ra 1 giá trị ở tần số lưới. Ưu điểm khác của IDAX là phân tích một tập hợp giá trị (đường cong). Để áp dụng các lời giải cơ bản về vấn đề cần quan tâm.

Hình 4.2.7 chỉ ra rằng, 1 giá trị hệ số công suất không thể cho thông tin cuối cùng về vấn đề thể.



Hình 4.2.7: Xanh - "Khô" MBA có dầu xấu; Đỏ - "ẩm" MBA có dầu tốt

Trong thí dụ này, có 2 máy biến áp có thể có cùng 1 hệ số công suất ở tần số 50 Hz. Tuy nhiên, 1 trong chúng chứa 3,6% độ ẩm và cần phải đưa vào sấy, trong khi đó dầu trong máy biến áp 2 cần phải được thay thế và lọc lại.



## Quá trình làm việc với IDAX

Chuẩn bị cho thử nghiệm và mọi thao tác thử nghiệm cũng tương tự như các thủ tục tiêu chuẩn khi tiến hành đo hệ số công suất, nghĩa là MBA được tách khỏi nguồn và cắt tất cả thiết bị đầu nối tới nó. Chương trình lập trình của thiết bị IDAX sẽ hướng dẫn người sử dụng theo các thử nghiệm tiêu chuẩn tương ứng. Việc đấu nối thiết bị theo hình 4.2.8. Các dây nối khác màu giúp người sử dụng dễ dàng nối tới hộp nối và thiết bị (hình 4.2.9). Việc thử nghiệm có thể tiến hành ngay sau khi đấu nối xong. Các thông tin về sự nhầm lẫn trên màn hình sẽ báo cho người sử dụng biết là việc đấu nối có nhầm lẫn hay không. Việc phân tích dữ liệu trên màn hình có thể thực hiện song song với các thao tác thử nghiệm. Mẫu IDAX - 206 sử dụng chương trình mới Windows XP và có tất cả các khả năng nối mạng cũng như kết nối USB.



Hình 4.2.9: Hộp nối dây và cáp đo

**Tổ hợp thiết bị:**

Thiết bị IDAX-206 cùng với tổ hợp thiết bị đồng bộ AD-290-90 bao gồm: Thiết bị *DAX-206*; Cáp đo và hộp nối dây; Vỏ hộp để vận chuyển; Cơ cấu để hiệu chỉnh; Chương trình và tài liệu Hướng dẫn vận hành.

## Đặc tính kỹ thuật IDAX 206



Nhiệt độ làm việc ( $0^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$ ); Nhiệt độ bảo quản/ vận chuyển ( $-40^{\circ}\text{C} \div +70^{\circ}\text{C}$ )

Độ ẩm môi trường  $<95\%$  (không có điều hoà nhiệt độ),

Tiêu chuẩn an toàn theo: IEC 61010-1:90 + A1:92 + A2:95

UL 3101-1, 3111-1 (1994)

CAN-CSA 22.2 No. 1010.010 – 30

Các tiêu chuẩn khác EMC EN 61 326-1 1997 + A1 1998

### Đặc tính chung

Nguồn điện định mức 115 / 230 ~50/60 Hz; Công suất tiêu thụ 250 BA

Kích thước 450 x 160 x 410 MM (Kích thước vỏ máy để di chuyển 560 x 230 x 565)

Trọng lượng máy 15 kg (Trọng lượng cả vỏ 30 kg)

### Dải thông số đo

Điện dung 10 pF ÷ 100 μF

Góc tổn hao điện môi ( $0 \div 10$ ) (bằng độ chính xác đo điện dung hoặc cao hơn)

### Đầu ra

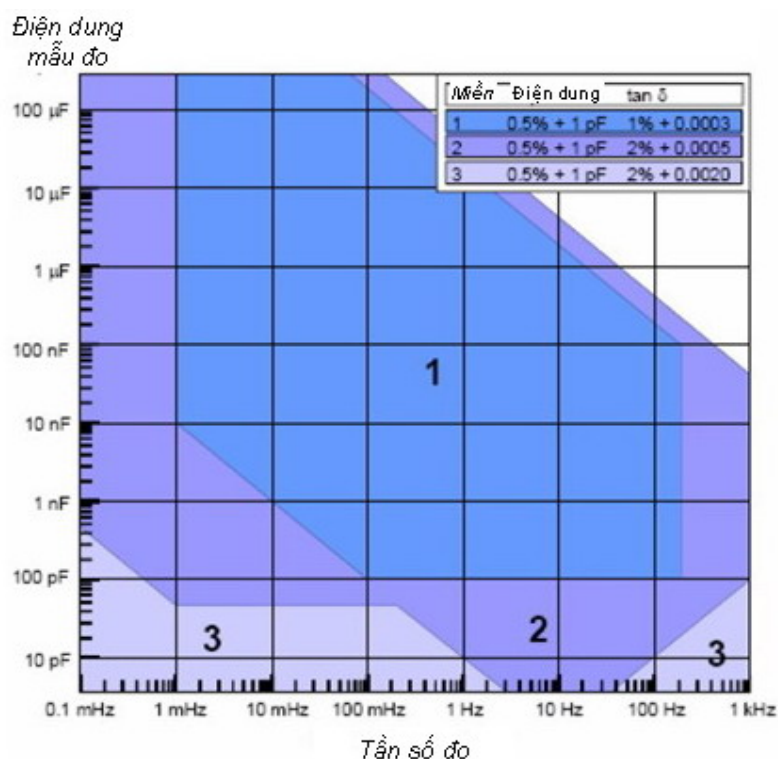
Điện áp/ dòng điện:

10 V             $0 \div 10 V_{\text{max}} / 0 \div 50 \text{ mA}$

200 V           $0 \div 200 V_{\text{max}} / 0 \div 50 \text{ mA}$

Tần số: 0,0001 Hz ÷ 1 kHz

Sai số đo (hình 4.2.10):



Hình 4.2.10: Sự phụ thuộc sai số đo vào điện dung mẫu đo và tần số đo

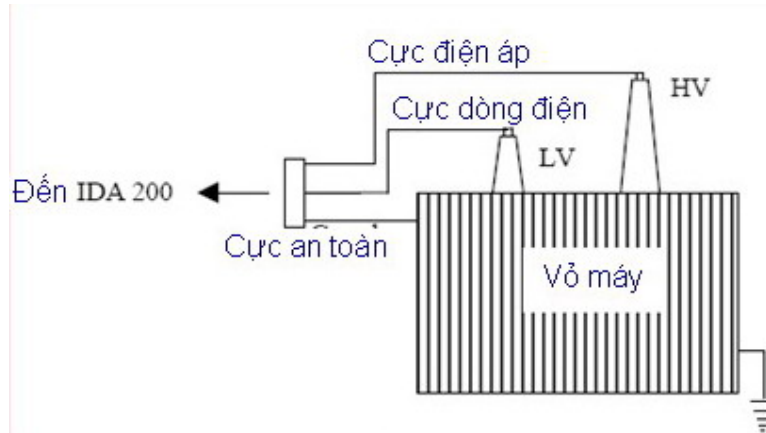
Sai số đo nêu trên ứng với việc đo ở điện áp  $200 V_{\max}$  – đảm bảo hệ số liên hệ ngược tốt nhất trong máy đo dòng *CFBR* và dòng điện nền (phông)  $I_H$

$$I_H < \frac{I_{\text{sample}} \times CFBR \times f_H}{f_{\text{sample}}}$$

Trong đó:  $I_{\text{sample}}$  - Dòng trong mẫu đo;  $f_{\text{sample}}$  - Tần số đo;  $f_H$  - Tần số nền

#### 4.2.3. Những phép đo ngoài hiện trường

Những phép đo ngoài hiện trường được tiến hành ở Sri Lanka trên những MBA thuộc CEB như ở bảng 4.2 và bảng 4.5. Sử dụng sơ đồ đo trong hình 4.3



Hình 4.3 Sơ đồ đo tại hiện trường

Trong suốt những phép đo, tất cả điện cực cuộn dây cao áp và hạ áp được ngắn mạch riêng lẻ. Thùng dầu tiếp đất được nối tới điện cực bảo vệ.

Những phép đo ngoài hiện trường đã được thực hiện ở những nhiệt độ khác nhau (giữa  $30^0 C$  và  $60^0 C$ ) tùy thuộc vào trạng thái vận hành. Khi những phép đo được tiến hành ở những mức nhiệt độ đã định, nhiệt độ của dầu đã được ghi chép cho cả hai trạng thái ở bắt đầu và kết thúc của mỗi phép đo. Trong hầu hết các trường hợp, sự chênh lệch về nhiệt độ nhỏ hơn  $3^0 C$ . Do đó, qua những nghiên cứu này nhiệt độ khởi động được cân nhắc như nhiệt độ phép đo.

Một phần từ phép đo FDS, dù khả năng nào những mẫu dầu cũng được lấy ra từ những MBA để phân tích hóa học và điện. Mẫu dầu đã được lấy theo tiêu chuẩn IEC 60475.

#### 4.2.4. Những phép đo trong phòng thí nghiệm

##### 4.2.4.1 Những phép đo với MBA

MBA đã lựa chọn cho nghiên cứu trong một môi trường thí nghiệm là một MBA phân phối (100 kVA, 20kV/400V), chúng được chế tạo từ năm 1979 bởi ASEA. Nó bao gồm một cuộn dây điện áp thấp hình lá và cuộn dây cao áp được bọc bằng lớp tráng men. Vào năm 2000, MBA được cải tạo và thay dầu. Tuy nhiên sau khi cải tạo, MBA đã không được đưa vào sử dụng cho đến khi thực hiện những thử nghiệm này. Cách điện của những MBA phân phối thường khác nhau, khi khảo



sát MBA này, cách điện giữa những cuộn dây điện áp thấp và cao áp bao gồm tấm ngăn và các miếng đệm đã gắn hồ.

Để cân bằng thành phần nước trong dầu và giấy, MBA được làm nóng lên trên nhiệt độ  $70^{\circ}\text{C}$  trong 2 tuần. Điều này được thực hiện bằng cung cấp liên tục một dòng điện 2,1 A tới cuộn dây cao áp (có nghĩa là nó mang tải khoảng 70%) trong lúc cuộn dây hạ áp được ngắn mạch. Để tổn thất nhiệt nhỏ nhất và giữ được nhiệt độ ở mức yêu cầu, MBA đã cách nhiệt. Điện trở của cuộn dây cao áp đã được đo để tính toán nhiệt độ bên trong của MBA.

Sau đó, thực hiện phép đo FDS trước và sau khi MBA được sấy nóng. Những phép đo này đã thực hiện ở nhiệt độ  $20^{\circ}\text{C}$  trong thang tần số  $10^{-4}\text{ Hz} - 10^3\text{ Hz}$  và điện áp lớn nhất là 200 V. Dụng cụ đo được nối tới MBA như được mô tả ở phần 4.2.1.

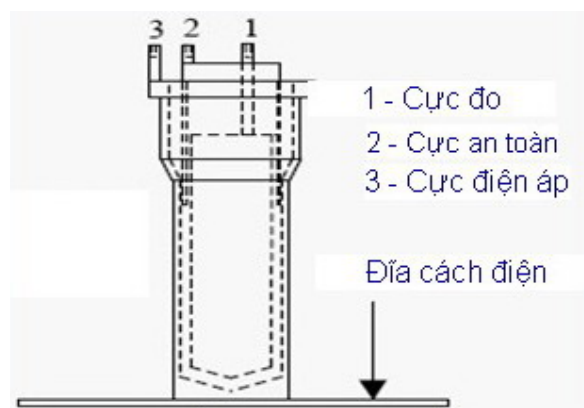
Những phép đo PDC của MBA này được tiến hành với các thiết lập như ở phần trên. Những phép đo PDC được tiến hành sau khi MBA đã làm lạnh xuống tới nhiệt độ phòng ( $20^{\circ}\text{C}$ ) sau khi xử lý nhiệt. Điện áp 500 V một chiều đã phóng qua cách điện chính trong thời gian  $7,5 \times 10^4\text{ s}$  để đo dòng phân cực. Sau đó dòng khử phân cực được đo trong thời gian  $10^4\text{ s}$  bởi ngắn mạch hai bộ cuộn dây qua máy đo điện tử.

#### 4.2.4.2 Những phép đo với buồng thử nghiệm dầu

Buồng thử nghiệm dầu hình trụ bằng thép chống rỉ với 3 điện cực được sử dụng để thực hiện phép đo FDS trên những mẫu dầu MBA. Những kết quả đo được dùng để tính toán độ dẫn của dầu. Các thông số của buồng thử nghiệm này cho trong bảng 4.7

Bảng 4.7: Thông số của buồng thử nghiệm

Thông số	Giá trị
Khối lượng	45ml
Khoảng cách điện cực	2 mm
Điện dung hình học	70 pF



Hình 4.4. Buồng thử nghiệm dầu

Hình 4.4 đưa ra sơ đồ giản lược của buồng thử nghiệm dầu được sử dụng cho phép đo FDS. Trước khi buồng được đổ đầy dầu và được lau sạch với hexan và được sấy khô. Trong suốt quá trình đo, buồng thí nghiệm đã được đặt lên một cái đĩa cách điện nhằm cách ly điện cực điện áp với tiếp đất.

Độ dẫn của dầu được tính toán theo (7.1),

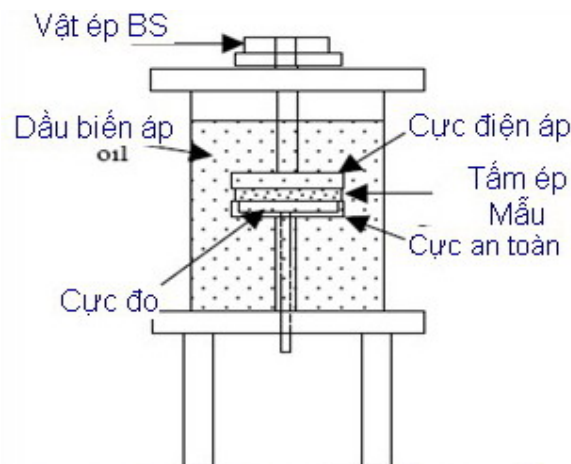
$$\sigma(\omega) = \frac{C''(\omega)}{C_0} \varepsilon_0 \omega \quad (7.1)$$

Với:

- $\sigma(\omega)$  là độ dẫn điện phụ thuộc tần số của dầu
- $C''(\omega)$  phần ảo của điện dung phức ở tần số  $\omega$
- $C_0$  điện dung hình học của buồng thí nghiệm

#### 4.2.4.3 Những phép đo với tấm ép mẫu

Những tấm ép mẫu thẩm hàm lượng ẩm khác nhau được dùng cho những nghiên cứu này. Những tấm mẫu có ở phòng thí nghiệm của công ty Weidmann vào năm 1995 và được đặt trong hình trụ đổ đầy dầu. Chúng được đặt trong phòng thí nghiệm cao áp ở ETH Zurich, nơi mà tất cả các phép đo đã được thực hiện vào năm 2002.



Hình 4.5 Sơ đồ thử nghiệm tấm ép mẫu

Những phép đo FDS đã được thực hiện trên những tấm ép mẫu để hình thành một cơ sở dữ liệu về mối liên quan sự phụ thuộc tần số của hằng số điện môi phức (của tấm ép) vào hàm lượng độ ẩm. Những phép đo này đã được thực hiện trong buồng thí nghiệm đặc biệt (hình 4.5) sử dụng thiết bị IDA 200. Tất cả phép đo được thực hiện ở nhiệt độ phòng TN (giữa 20<sup>0</sup> C và 27<sup>0</sup> C).

Độ dày và đường kính của tất cả mẫu tấm ép trong nghiên cứu tương ứng với 2mm và 159 mm. Đường kính của điện cực đo là 113 mm, điện cực đã mang lại một điện dung hình học giữa các điện cực là 44,4 pF. Thêm một vật nặng 2981 gam

được đặt trên đỉnh của điện cực để cân bằng áp lực trên những tấm mẫu ép trong suốt các phép đo. Những phép đo FDS được thực hiện với điện áp xoay chiều  $50V_{\text{đỉnh}}$ .

#### 4.2.4.4 Những phép đo xác định tuổi của Karl Fischer

Dùng phương pháp kỹ thuật KFT để đo thành phần độ ẩm trong tấm ép mẫu (đơn vị Culông). Trong trường hợp này, đã sử dụng công nghệ lò nung trực tiếp. Ở phương pháp này, trọng lượng được biết (khoảng 0,5g) của tấm ép mẫu đã được đặt trong lò. Nhiệt độ tấm ép đạt  $140^{\circ}\text{C}$ .

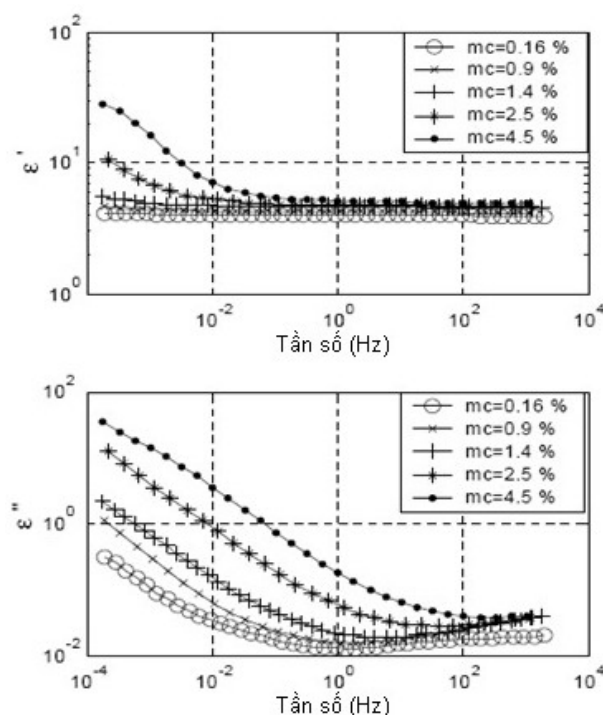
Độ ẩm đã giảm đi từ tấm ép đã được để xa ống đo độ tuổi bởi luồng khí ga làm khô  $\text{N}_2$ . Thủ tục thực hiện được mô tả trong IEC 60814 cho phép xác định thành phần độ ẩm trong tấm ép.

Phân tích KFT được thực hiện trên những mẫu dầu để so sánh với giá trị hàm lượng độ ẩm đã dự báo từ phép đo FDS. Đã sử dụng công nghệ KFT đo đơn vị Culông trực tiếp và sử dụng thuật toán mô tả trong IEEE 62 – 1995 để xác định kết quả.

### 4.3. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

#### 4.3.1. Những tấm ép mẫu

Hàng số điện môi phức đã thu được từ đo điện dung phức của 5 tấm ép mẫu được cho trong hình 4.6. Những kết quả này ở nhiệt độ  $27^{\circ}\text{C}$  và điện áp 0,9 V.



Hình 4.6. Phần thực và ảo của hằng số điện môi phức như một hàm của tần số ở nhiệt độ  $27^{\circ}\text{C}$  cho tấm ép mẫu kể cả sự khác nhau của hàm lượng độ ẩm ( $mc$ ).

Trong hình 4.6, ở cùng một thời điểm trong miền tần số thấp, hằng số điện môi  $\epsilon'$  tăng khi thành phần độ ẩm tăng lên trong tấm ép; tổn thất điện môi  $\epsilon''$  cũng

tăng khi thành phần độ ẩm tăng lên. Điều này được lưu ý để được sử dụng trong việc phát triển mô hình X,

Những dữ liệu này đã thường được sử dụng hình thành cơ sở dữ liệu cho mô hình đặc trưng điện môi theo mô hình X và cho việc ước lượng thành phần độ ẩm trong cách điện của MBA đã đo trong trường và dưới điều kiện trong phòng thí nghiệm. Những biến đổi tuyến tính của những giá trị loga của cả hai hằng số điện môi  $\epsilon'$  và tổn thất  $\epsilon''$  giữa hai thành phần độ ẩm liên tiếp đã được giả định cho tính toán đặc trưng tương ứng thành phần độ ẩm đã không bao gồm trong cơ sở dữ liệu.

Thành phần độ ẩm trong tấm ép mẫu ước lượng bởi phân tích KFT đã cho trong bảng 4.8. phần mềm MODS do nhà chế tạo thiết bị IDA 200 cung cấp, cũng đã được sử dụng để ước lượng thành phần độ ẩm trong những mẫu này. Phần mềm này sử dụng 2 cơ sở dữ liệu khác nhau cho mô hình, được gọi là “Xenlulo” (giấy) và “Tấm ép”. Phần mềm thứ nhất nguyên là nền của phép đo điện môi đã thực hiện trên những mẫu giấy. Sự ước lượng thành phần độ ẩm sử dụng cả 2 cơ sở dữ liệu và sự khác nhau về phần trăm của chúng với những kết quả của phân tích KFT cũng được cho trong bảng 4.8

Mẫu No.	mc theo KFT (%)	MODS- "Tấm ép"		MODS- "Xenlulo"	
		mc (%)	pd (%)	mc (%)	pd (%)
1	0.16	0.16	0	0.002	-99
2	0.9	0.68	-24	0.2	-77
3	1.4	1.14	-19	0.35	-85
4	2.5	2.73	9	1.5	-40
5	4.5	4	-11	2.6	-19

mc – Hàm lượng ẩm ; pd – Sự khác nhau về phần trăm,

Bảng 4.8: thành phần độ ẩm trong tấm ép mẫu

Như trong bảng, những ước lượng dựa trên dữ liệu “Xenlulo” luôn luôn thấp hơn ước lượng trên cơ sở dữ liệu “tấm ép”. Ở cùng thời gian, sự chênh lệch giữa thành phần độ ẩm đã ước lượng từ cơ sở dữ liệu “tấm ép” và từ phân tích KFT của riêng chúng ở mức liên hệ thấp (lớn nhất 24%).

Do cách điện trong MBA bao gồm chủ yếu là tấm ép và dầu. Cơ sở dữ liệu “Tấm ép” của phần mềm MODS như cơ sở dữ liệu được đưa ra trong (4.8) đã được tận dụng cho mô hình đặc trưng điện môi của cách điện MBA. Dù sao, việc chế tạo MBA phân phối thường là khác nhau. Do đó, đã sử dụng cả cơ sở dữ liệu “xenlulo” cho những giá trị đo của các MBA phân phối.

## 4.3.2. MBA phân phối trong phòng thí nghiệm

### 4.3.2.1 Sử dụng mô hình X-Y và mô hình X

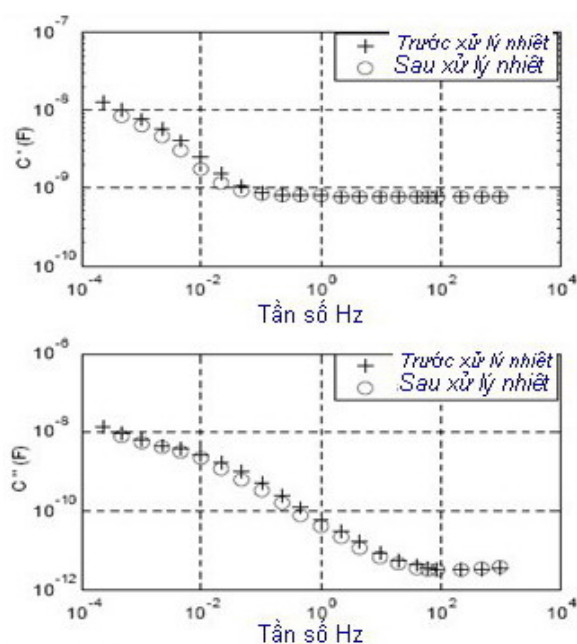
Những kết quả phép đo FDS trước và sau khi xử lý nhiệt của MBA trong hình 4.7. Kết quả đó có thể ghi lại một sự dịch chuyển nhỏ của những đường cong đến miền tần số thấp hơn sau khi xử lý. Chuyển dịch này được xem chủ yếu ở tần số nơi phân loại bởi độ dẫn dầu chiếm ưu thế đặc trưng điện môi toàn bộ của hệ thống cách điện giấy dầu.

Đường cong đã được sử dụng cả hai mô hình X-Y và X.

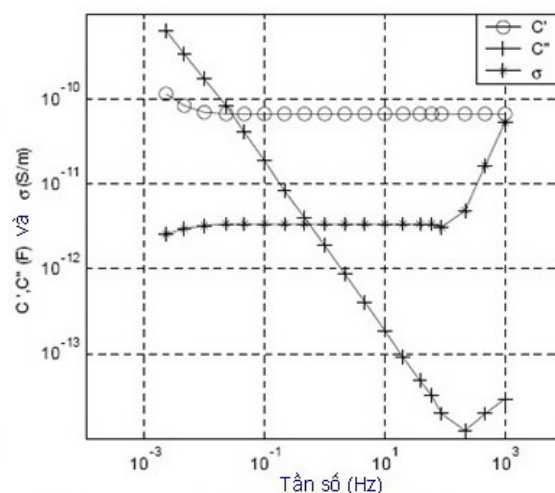
	Mô hình X-Y “Tấm ép”				Mô hình X-Y “xenlulo”				Mô hình X		Phân tích dầu	
	mc	$\sigma$	X	Y	mc	$\sigma$	X	Y	mc	X	mc	$\sigma$
<b>A</b>	3,2	13	20	22	2,1	13	20	22	--	--	--	--
<b>B</b>	3,2	8,5	20	22	2,1	8,5	20	22	2,4	20	2	4

mc – Hàm lượng ẩm trong tấm ép (%);  $\sigma$  - độ dẫn của dầu ở 20<sup>0</sup>C; A – trước khi xử lý nhiệt; B – sau khi xử lý nhiệt; X và Y (%)

Bảng 4.9. Mô hình và thông số đo của MBA trong phòng thí nghiệm



Hình 4.7. Sự so sánh phần thực và ảo của điện dung phức đo được trong MBA thí nghiệm ở nhiệt độ 20<sup>0</sup>C trước và sau khi xử lý nhiệt.



Hình 4.8 Điện dung ( $C'$ ), tổn thất ( $C''$ ) và độ dẫn ( $\sigma$ ) như một hàm tần số ở 20<sup>0</sup>C cho KQ lấy mẫu dầu từ MBA thí nghiệm

Hai giá trị độ dẫn dầu thu được từ mô hình X-Y bằng 13 và 8,5 pS/m. Tương ứng với những phép đo trước và sau khi xử lý nhiệt. Những giải thích này được kết luận sớm hơn dựa vào dịch chuyển tần số giữa hai đặc trưng tần số trong hình 4.7. Độ dẫn của dầu đã đo sau khi xử lý nhiệt ở 4 pS/m. Giá trị này tương tự nhau, nhưng xác định bằng cách này thấp hơn giá trị đạt được từ mô hình.

Hình 4.8 đưa ra điện dung phụ thuộc tần số  $C'(\omega)$ , tổn thất  $C''(\omega)$  và  $\sigma$  của dầu, lấy mẫu từ MBA thí nghiệm. Những kết quả đưa ra đo được ở nhiệt độ 20°C. Như hình ảnh, độ dốc của tổn thất phụ thuộc tần số gần -1, độ dốc này chỉ ra phạm vi của độ dẫn dầu trong đặc tính điện môi của dầu. Nó cũng được quan sát cho điện dung  $C'(\omega)$  là hầu hết không đổi, và nó chỉ ra tiêu tán điện môi không ý nghĩa của dầu bên trong thang tần số đo. Hai sự quan sát này biến đổi giá trị đúng của mô hình đặc trưng điện môi của dầu với một điện trở được nối song song với một tụ điện.

Thành phần độ ẩm đã ước lượng bởi phần mềm MODS có ý nghĩa khác nhau cho cả hai cơ sở dữ liệu đã sử dụng, nhưng rõ ràng bên trong mỗi cơ sở dữ liệu cho trường hợp A và B. Giá trị thu được từ “Xenlulo” là thấp hơn và tương tự với giá trị thu được từ phân tích dầu. thành phần độ ẩm được ước lượng từ mô hình X cũng so sánh với kết quả thu được từ phân tích dầu. theo tiêu chuẩn IEEE 62-1995, giá trị này gần với giới hạn biên chấp nhận, bằng 2,5%.

Xem trong bảng 4.9, nhận được thành phần ngăn cản cũng tương tự nhau. Dù sao, bởi sự thiếu thông tin chính xác trên việc xây dựng MBA này nó không thể so sánh chúng với thành phần vật cản thực.

#### 4.3.2.2. So sánh phép đo phổ điện môi trong miền thời gian và miền tần số.

Đối phó lại FDS của MBA thí nghiệm đã đang được sử dụng mô hình phân loại số lần phục hồi và sau này nó đã được sử dụng cho xuất phát đặc trưng miền thời gian tương ứng.

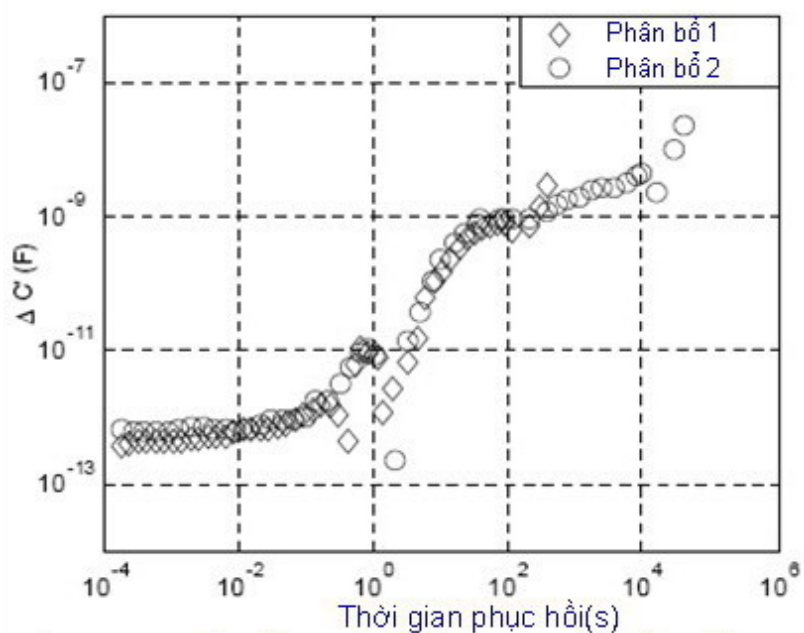
Phân loại số lần phục hồi đã xuất phát trong 2 hướng khác nhau. Trong phương pháp thứ nhất (Phân bổ 1), chúng ta giả định rằng không có quá trình phục hồi khác bên ngoài cửa sổ tần số góc đã sử dụng cho phép đo ( $2,9 \cdot 10^{-3}$  rad/s và  $6,3 \cdot 10^3$  rad/s). Do đó, tất cả hằng số thời gian chuyển hóa đã được giới hạn đến quãng thời gian tương ứng đến cửa sổ này. Ở phương pháp thứ 2 (Phân bổ 2), số liệu đo đã được ngoại suy ở cuối tần số thấp giả định rằng  $C'(\omega)$  và  $C''(\omega)$  đã thay đổi tỷ lệ theo phân số luật công suất

$$C'(\omega) \propto C''(\omega) \propto \omega^{1-n} \quad (8.1)$$

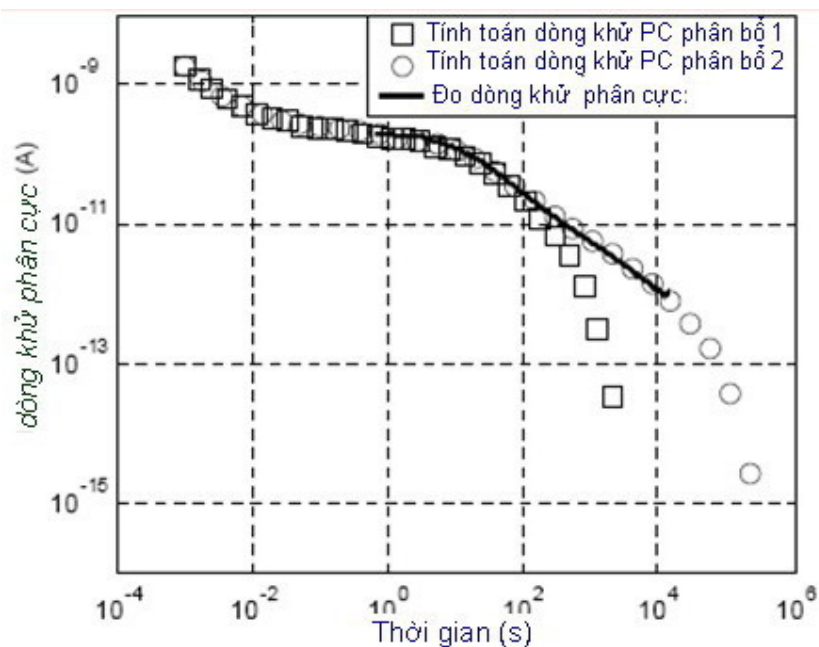
Trong đó n bằng 0,62. điều này cho phép tăng lên quãng thời gian của hằng số thời gian đã chuyển hóa. Phân loại cường độ điện môi và số lần phục hồi đem đến sử dụng cả 2 phương pháp như trong hình 4.9. cả hai nhóm phân loại chứa đựng một vùng đỉnh yếu ở khoảng 100s.

Những dòng điện khử phân cực chuyển hóa từ những phân loại được so sánh với dòng khử phân cực đã đo, như hình 4.9. Kết quả có thể ghi lại dòng điện đã tính toán từ Phân loại 1 chênh lệch với số liệu đo ở thời gian dài hơn (>100 s). Mặt

khác, dòng phân cực đã tính toán từ Phân bố 2 gần đúng với dữ liệu đã đo. Chỉ rõ ngoại suy cần thiết này trong dữ liệu tần số thấp để đạt được những thông số đúng.



Hình 4.9. Cường độ điện môi trong số lần phục hồi nhận được từ việc sử dụng 2 phương pháp.



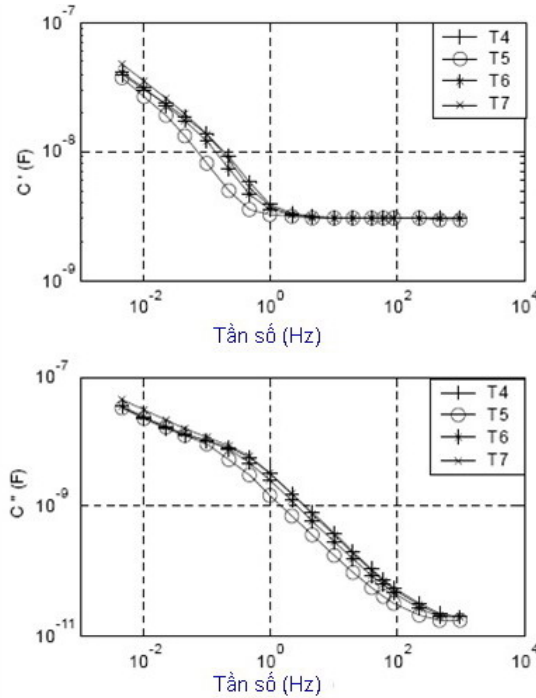
Hình 4.10. Tính toán và đo những dòng khử phân cực



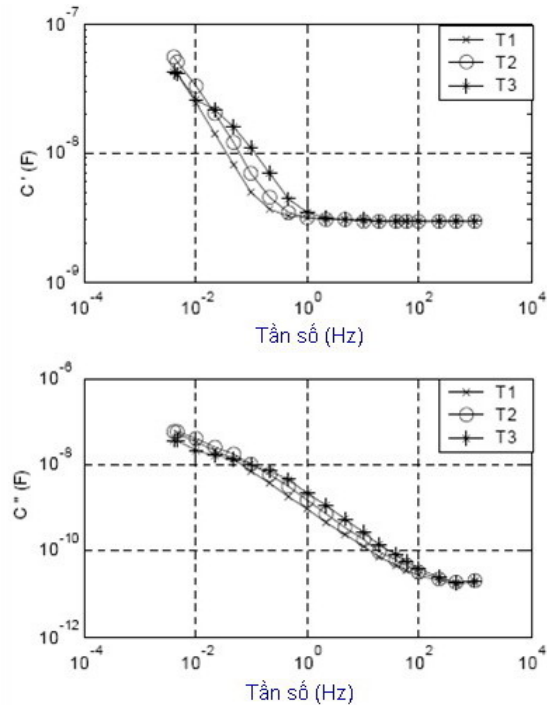
### 4.3.3. Các MBA đo ngoài hiện trường

Những kết quả đã đưa ra trong phần này được dựa trên cơ sở thực hiện phép đo các MBA ngoài hiện trường thuộc CEB ở Sri Lanka.

#### 4.3.3.1. MBA một pha



Hình 4.11. Phần thực và ảo của điện dung phức đo trên MBA T4-T7 như là một hàm của tần số ở nhiệt độ 30°C.



Hình 4.12. phần thực và ảo của điện dung phức của MBA T1, T2 và T3 ở nhiệt độ tương ứng là 40, 45 và 40°C

Dữ liệu điện dung phức đo được ở các MBA T4-T7 trên hình 4.11. Chúng có một trị số giống nhau là số giờ vận hành. Khi thực hiện những phép đo, nhiệt độ của những MBA này khoảng 30°. Như trên hình 4.11, điện dung tiêu tán  $C''(\omega)$  ở những tần số thấp hơn 1 Hz là có giá trị cao. Hơn nữa, có thể nhận thấy một vài sự chênh lệch  $C''(\omega)$  giữa các MBA. Điện dung đã đo của T7 ở tần số thấp nhất là cao hơn những giá trị tương ứng cho 3 MBA khác nhau. Một trong chúng có thể giả định rằng sự khác nhau này là nguyên nhân bởi thành phần độ ẩm cao trong T7. Điều này có thể xem khi so sánh với những kết quả phân tích dầu. Tổn thất  $C''(\omega)$  của những MBA T4 và T7 cao hơn một chút với những MBA khác. Ảnh hưởng đó là bởi nguyên nhân độ dẫn điện trong dầu cao hơn trong 2 MBA này.

Hình 4.12 đưa ra sự biến đổi của điện dung và tổn thất MBA T1-T3, cũng chỉ rõ giải thích cho MBA T4-T7. Dù sao, những máy biến áp đã được đo ở mức nhiệt độ 40°C và 45°C từ lúc chúng vận hành chỉ trước khi bắt đầu những phép đo.

Số đo điện dung phức của toàn bộ 7 MBA đã được sử dụng mô hình đặc trưng điện môi của chúng. Những thông số nhận được từ phần mềm MODS và mô hình X ở trong bảng 4.10. Những kết quả của phân tích dầu của những MBA tương ứng được cho trong bảng.

Những giá trị độ dẫn dầu đã đo và thu được được so sánh sau khi tính toán lại giá trị của chúng ở nhiệt độ 27°C bởi việc giả định năng lượng hoạt hóa ở 0,7



eV. Như bảng 4.10, giá trị độ dẫn dầu đã bao gồm từ MODS và giá trị đo tương ứng là như nhau.

*Bảng 4.10. So sánh những kết quả mô hình FDS và những kết quả từ phân tích dầu*

TN No.	Phân tích dầu				Thông số mô hình X-Y					Thông số mô hình X		
	ST	$\sigma$	mco	mc	$\sigma$	mc	X	Y	$C_0$	mc	X	$C_0$
T1	43	19	35	2,1	20	4	20	25	0,9	3,9	30	1
T2	40	25	36	2,6	22	4	20	25	0,9	3,8	31	1
T3	38	48	56	4,5	54	3,9	21	25	0,9	3,6	32	1
T4	47	190	86	3,9	194	4	21	25	1	4,2	31	1
T5	48	70	82	3,7	77	4	21	25	0,9	4,1	30	1
T6	54	142	140	4,9	150	4	20	25	1	4,1	29	1
T7	35	150	150	10?	182	4,3	20	25	0,9	4,4	28	1

*ST- nhiệt độ mẫu dầu;  $\delta$  - độ dẫn dầu ở nhiệt độ 27<sup>0</sup>C; mco- thành phần độ ẩm trong dầu; mc- thành phần độ ẩm trong giấy (%);  $C_0$ - điện dung hình học (nF).*

Thành phần độ ẩm được ước lượng từ MODS phần nào là gần hơn với những giá trị tương ứng đã ước lượng từ mô hình X. Dù sao, Những giá trị này khác nhau từ những giá trị ước lượng từ kết quả của sự phân tích dầu, đặc biệt ở T1, T2 và T7. Ước lượng thành phần độ ẩm trong giấy dựa vào thành phần độ ẩm trong dầu có sự phụ thuộc cao vào nhiệt độ. Do đó, sự khác nhau có thể bởi chênh lệch nhiệt độ của cách điện MBA khi lấy mẫu dầu. Những kết quả của sự phân tích dầu chỉ ra thành phần độ ẩm 10% trong MBA T7, giá trị này cực cao và không mong đợi cho vận hành một MBA. Những kết quả này có thể do sự mất cân bằng trong hàm lượng ẩm giữa dầu và giấy vào thời điểm lấy mẫu dầu ra. Hoặc bởi sự hiện diện của chất gây ô nhiễm trong dầu, chất này tác dụng lại với iodine trong khả năng hòa tan KFT và mang lại một ước lượng cao của thành phần độ ẩm.

Điện dung hình học nhận được từ thông số mô hình X cao hơn gần 10% những giá trị thu được từ mô hình X-Y. Giá trị cao hơn này có thể bởi sự cầu thả của thành phần miếng đệm trong mô hình X. Bởi thiếu sự giải thích chi tiết, nó đã không thể kiểm tra được độ chính xác của những kết quả này.

Hàm lượng độ ẩm thu được cho thấy tất cả MBA có một lượng ẩm quá cao. Do đó, CEB đã thực hiện lọc dầu trên tất cả các máy biến áp.

Những thông số ước tính cho những MBA này đã được liệt kê trong bảng 4.10. như hình 4.12,  $C'(\omega)$  và  $C''(\omega)$  của 3 MBA này là tương tự nhau. Ở đó, những điều kiện dòng điện của cách điện trong 3 MBA này là như nhau. Tương tự những thông số thu được từ sự phân tích dầu. Hơn nữa, những thông số đạt được từ mô hình cũng sát gần nhau hơn.

Hình 4.13-4.15 đưa ra số đo hằng số điện môi  $\epsilon'$  thu được và tổn thất  $\epsilon''$  từ MBA T8-T10. Kết quả nhận được từ mô hình X. Số đo và tổn thất thu được không phù hợp trong miền tần số trên 100 Hz. Sự khác nhau này nguyên nhân có thể bởi sự cầu thả của sự ảnh hưởng những tấm đệm trong mô hình X. Hơn nữa, Đường cong tổn thất mô hình của MBA T9 ở mức độ cao vừa phải hơn đường cong số đo tương ứng bên trong thang tần số nơi độ dẫn dầu chiếm ưu thế toàn bộ đặc tính. Sự

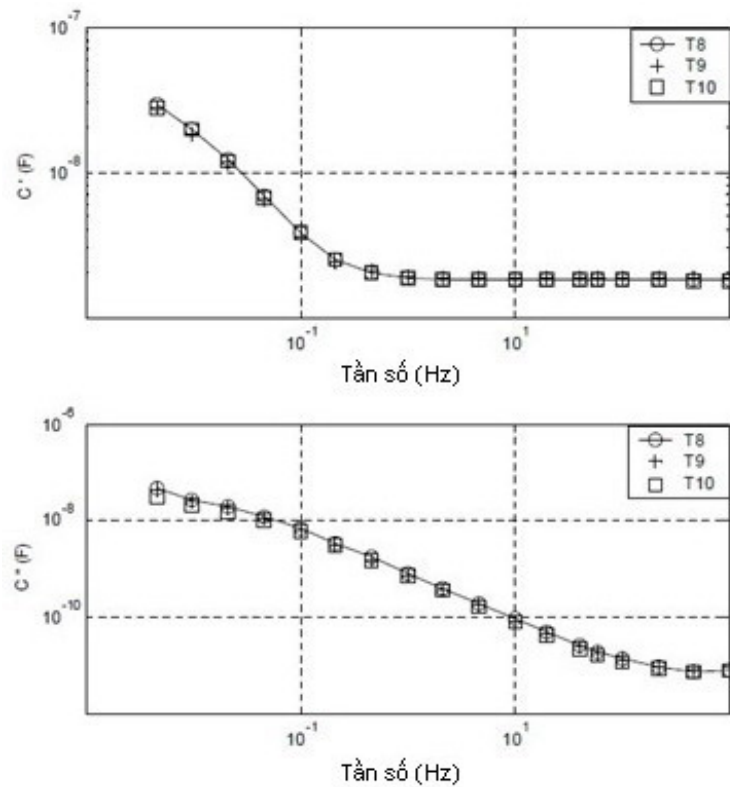
khác nhau này bởi giá trị độ dẫn điện của dầu cao đã chỉ định tới mô hình X, đã được mang lại từ số đo độ dẫn dầu và bởi giả định một năng lượng hoạt hóa 0,7 V.

*Bảng 4.11. so sánh kết quả mô hình FDS và những kết quả từ sự phân tích của dầu cho MBA T8-T10.*

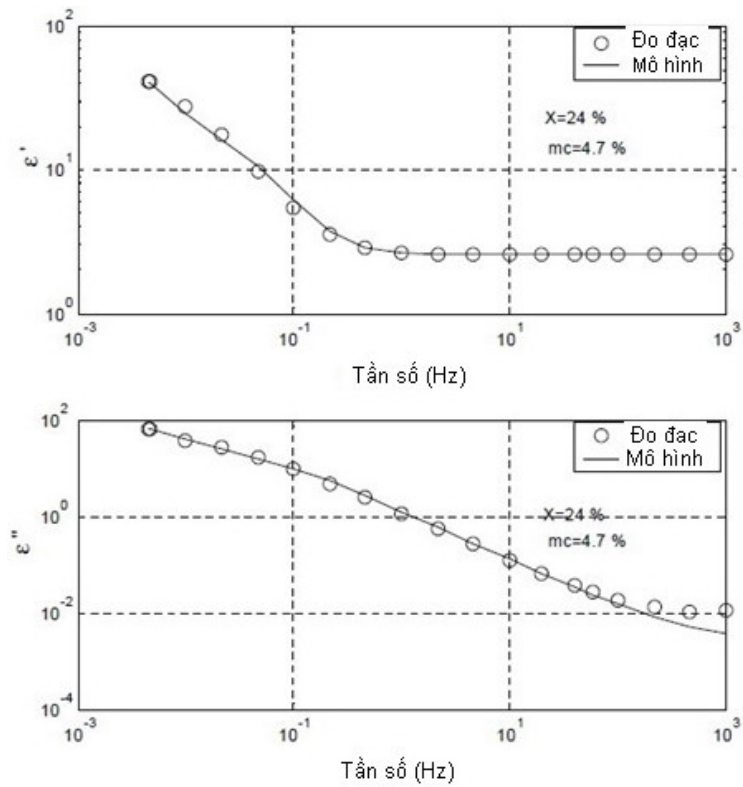
TN No.	Phân tích dầu				Thông số MODS					Thông số mô hình X		
	ST	$\sigma$	mco	mc	$\sigma$	mc	X	Y	$C_0$	mc	X	$C_0$
T8	35	51	44	4,2	63	5,2	20	15	0,6	4,7	24	0,7
T9	47	52	108	4,9	57	5	20	15	0,6	4,7	24	0,7
T10	50	47	115	4,6	52	4,5	20	15	0,6	4,3	24	0,7
T12	41	3	42	2	3	2,4	20	15	0,8	1,9	25	0,9

*ST-nhiệt độ mẫu dầu;  $\sigma$  độ dẫn của dầu ở nhiệt độ 27°C; mco- thành phần độ ẩm trong dầu; mc- thành phần độ ẩm trong giấy (%);  $C_0$ - điện dung hình học(nF).*

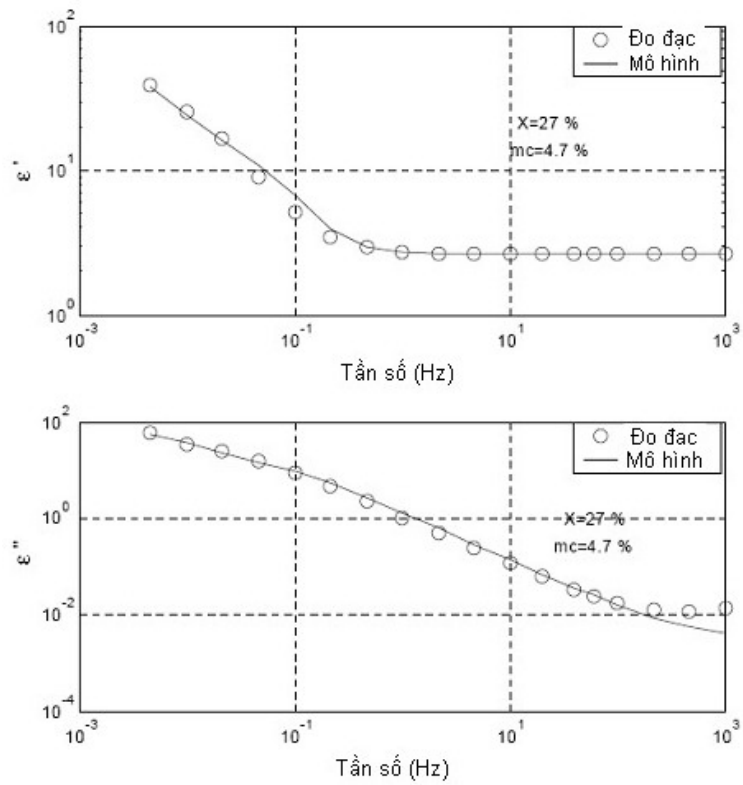
Hình 4.13 mô tả mô hình và kết quả đo cho MBA T12, tuổi của máy nhỏ hơn 20 năm. Tất cả thông số đã ước lượng cho MBA này cũng được chỉ ra trong bảng 4.11. Thành phần độ ẩm đã ước lượng và độ dẫn dầu của T12 ở mức thấp hơn nhiều so với ước lượng cho MBA đã xem xét trước đó. Như mô tả trong trường hợp trước, sự khác biệt giữa mô hình và đường cong tổn thất đã đo  $\varepsilon''$  là nguyên nhân chính bởi độ dẫn dầu ấn định cho mô hình X.



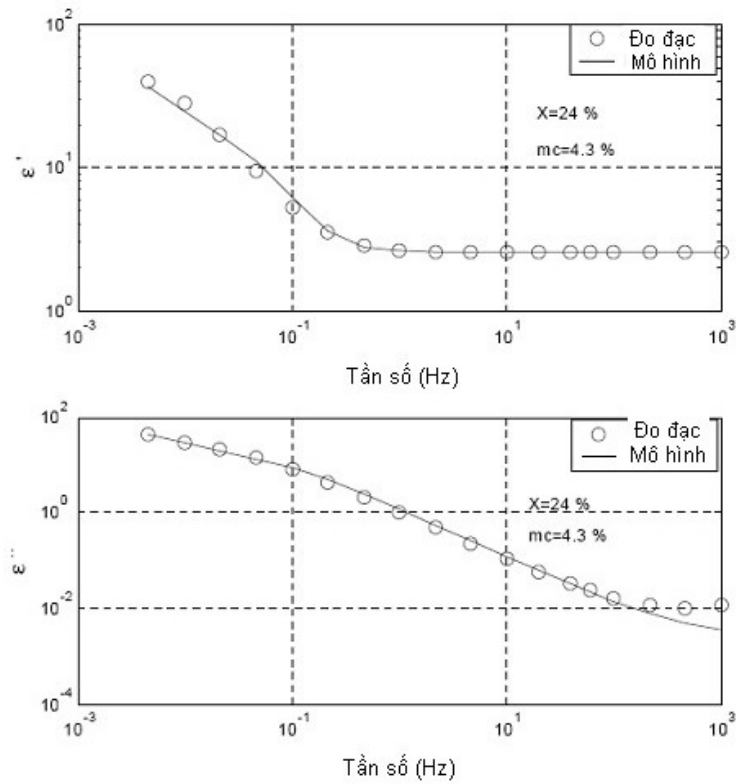
*Hình 4.13. phân tử thực và ảo của điện dung phức MBA T8-T10*



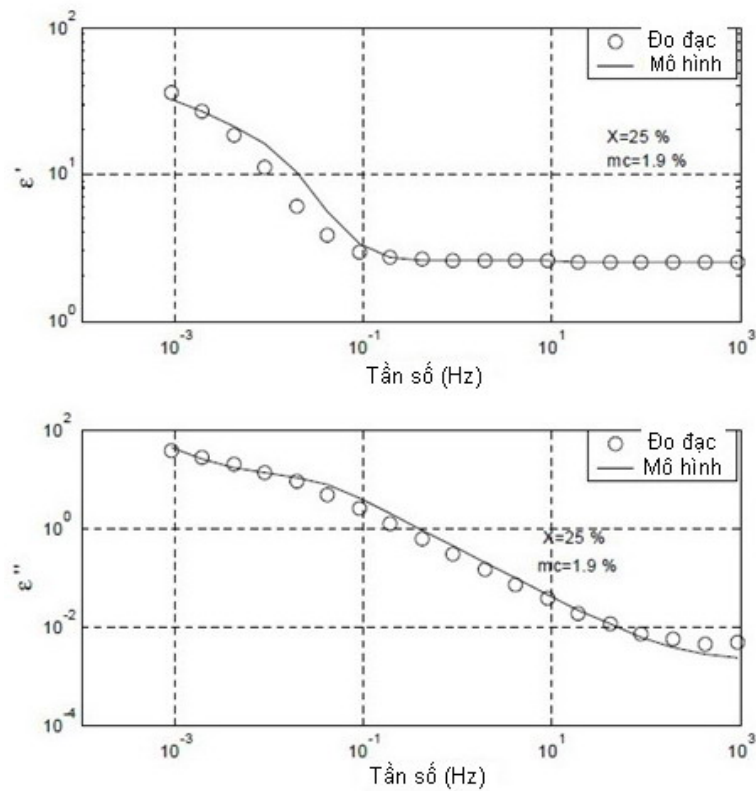
Hình 4.14: So sánh trị số của mô hình và trị số đo hằng số điện môi và tổn thất trong T8



Hình 4.15: So sánh trị số của mô hình và trị số đo hằng số điện môi và tổn thất trong T9



Hình 4.16: So sánh trị số của mô hình và trị số đo hằng số điện môi và tổn thất trong T10

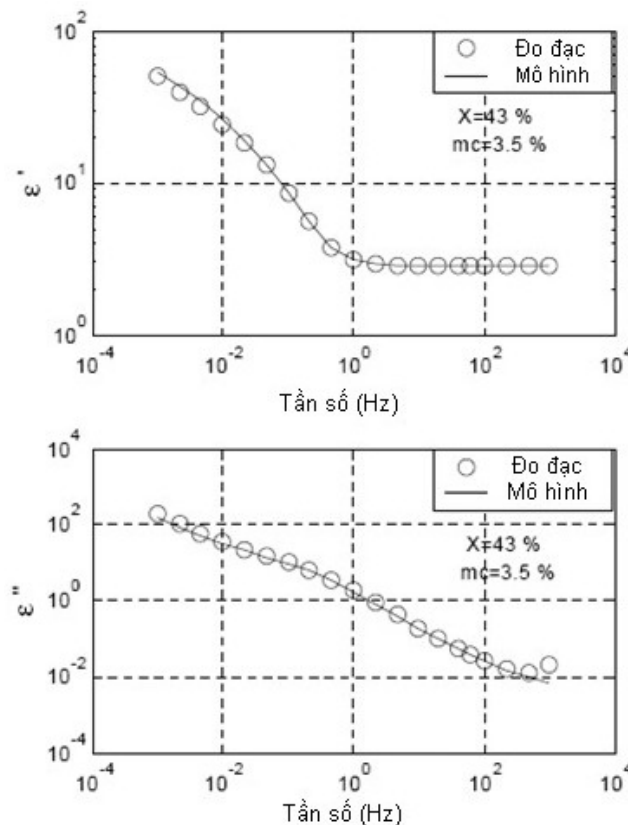


Hình 4.17: So sánh trị số của mô hình và trị số đo hằng số điện môi và tổn thất trong T12

#### 4.3.3.2. MBA 3 pha

Trong nghiên cứu này, không có nhiều khả năng cho thực hiện những phép đo trên các MBA công suất 3 pha. Những cơ hội để đo MBA, là ở những thời gian chúng không làm việc. T13 chỉ là một MBA 3 pha mà có thể thực hiện những phép đo thử nghiệm. Mặc dù MBA này đã được lắp đặt ở những năm gần đây (1990), giá trị điện trở cách điện của nó (IR) đã giảm xuống một cách nhanh chóng trong thời gian đó. Hơn nữa, nhật ký vận hành của MBA này chứa đựng thông tin về những chỗ niêm phong dầu không đủ tốt và gây thất thoát. Từ đó, một lý do khả năng cho việc giảm IR là độ ẩm xâm nhập vào từ môi trường khí quyển qua chỗ niêm phong dầu. Từ đó, có thể mong đợi cải thiện thành phần độ ẩm cao trong cách điện của nó.

Hình 4.18 mô tả số đo và mô hình hằng số điện môi  $\epsilon'$ , và tổn thất  $\epsilon''$  của MBA T13. Mô hình X đã xác định hàm lượng ẩm 3,5% trong cách điện. Giá trị tương ứng thu được từ mô hình X-Y là 3,8%. Hàm lượng ẩm tương ứng thu được từ sự phân tích dầu là 2,3%, thấp hơn nhiều so với những giá trị từ mô hình. Ở cùng thời gian, độ dẫn dầu xác định từ phần mềm MODS (11pS/m) và số đo độ dẫn dầu (9 pS/m) là tương tự nhau. Điện dung hình học xác định từ MODS là 1,5 nF, và tương tự với điện dung hình học thu được từ mô hình X là 1,6 nF.

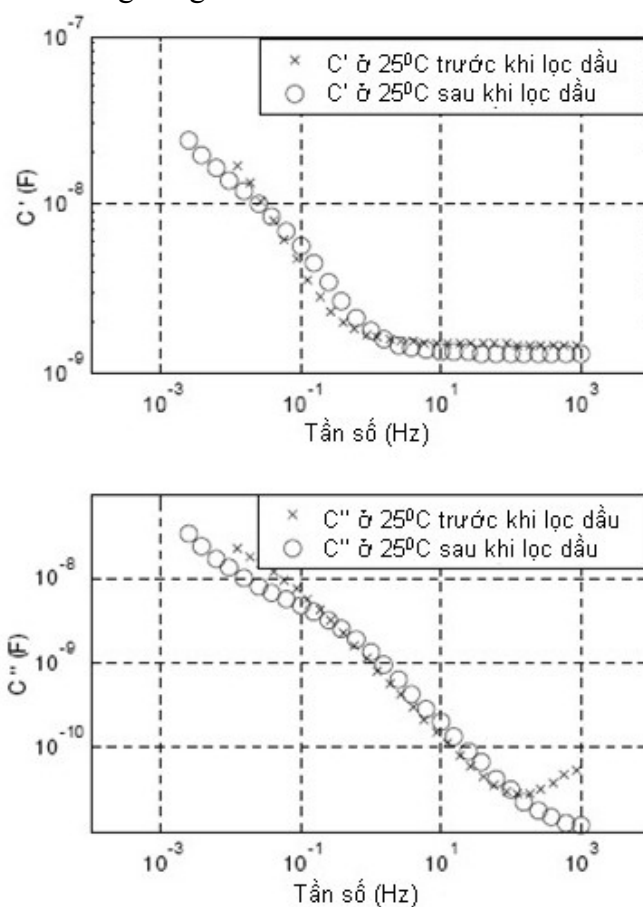


Hình 4.18: So sánh trị số của mô hình và trị số đo hằng số điện môi và tổn thất trong T13

Những kết quả khẳng định rằng thành phần độ ẩm trong MBA này đang ở mức cao, mặc dù nó vẫn đang trong vận hành nhỏ hơn 10 năm. Do đó, cần ngay lập tức sửa chữa những chỗ niêm phong dầu và nếu có thể thì lọc dầu trong chân không.

#### 4.3.3.3. MBA phân phối

Những phép đo FDS đã thực hiện trên MBA phân phối DT1 trước và sau khi lọc dầu. Kết quả những đường cong đặc trưng điện môi chỉ ra trong hình 4.19. Kết luận là thủ tục lọc dầu đã không được cải thiện chất lượng dầu. Để kiểm tra nó, phân tích điều kiện của những mẫu dầu, đã được lấy trước và sau khi lọc dầu. Suất điện trở dầu và những thông số điển hình khác của dầu đã được đo. Xem xét sự phụ thuộc điện trở suất vào nhiệt độ trên hình 4.20 thấy rằng việc lọc dầu đã không dẫn đến sự thay đổi của thông số này. Các nghiên cứu khác đã thực hiện ở công ty ABB ở Vasteras, Thụy điển cũng đưa ra kết quả tương tự. Thành phần độ ẩm đã giảm xuống từ 26 tới 14 ppm, con số trung hòa thay đổi từ 0,28 đến 0,24 mg KOH/g-oil, điện áp chọc thủng từ 76 đến 74 kV/2,5 mm, hệ số tổn thất từ 0,519 đến 0,476. và dải màu từ 7,0 đến 6,5. Những kết quả này khẳng định kết luận sớm hơn dựa trên phép đo FDS. Những thông số đã được ước lượng từ MODS, từ mô hình X và từ phân tích dầu đã cho trong bảng 4.12.



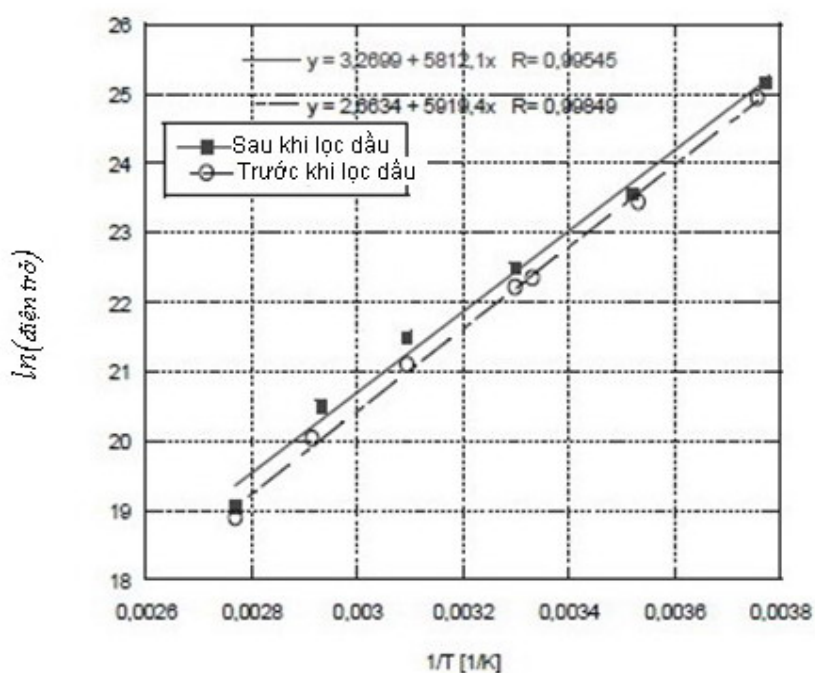
Hình 4.19. thành phần thực và ảo của điện dung phức MBA DT1 trước và sau khi lọc dầu.

Những thành phần độ ẩm đã ước lượng thu được từ cơ sở dữ liệu “tắm ép” và mô hình X là như nhau. Mặt khác những giá trị này ở mức cao hơn tương ứng với những ước lượng thu được từ cơ sở dữ liệu “Xenlulo” và phân tích dầu. Điều này có thể bởi sự khác nhau của cách điện bên trong MBA phân phối.

Bảng 4.12. Những thông số ước tính cho MBA DT1

Phương pháp		Trước khi lọc dầu					Sau khi lọc dầu				
		mc	$\sigma$	X	Y	$C_0$	mc	$\sigma$	X	Y	$C_0$
MODS	Giấy	3,9	150	20	20	0,4	2,9	87	20	20	0,4
	Tấm chắn	5,2	170	20	20	0,4	4,4	106	20	20	0,4
Mô hình X		5,6	--	30	--	0,4	4,2	--	30	--	0,4
Phân tích dầu		3,2	180	--	--	--	1,8	140	--	--	--

$\sigma$  độ dẫn của dầu ở nhiệt độ  $27^0C$ ; mc - thành phần độ ẩm trong giấy (%);  $C_0$ - điện dung hình học(nF).

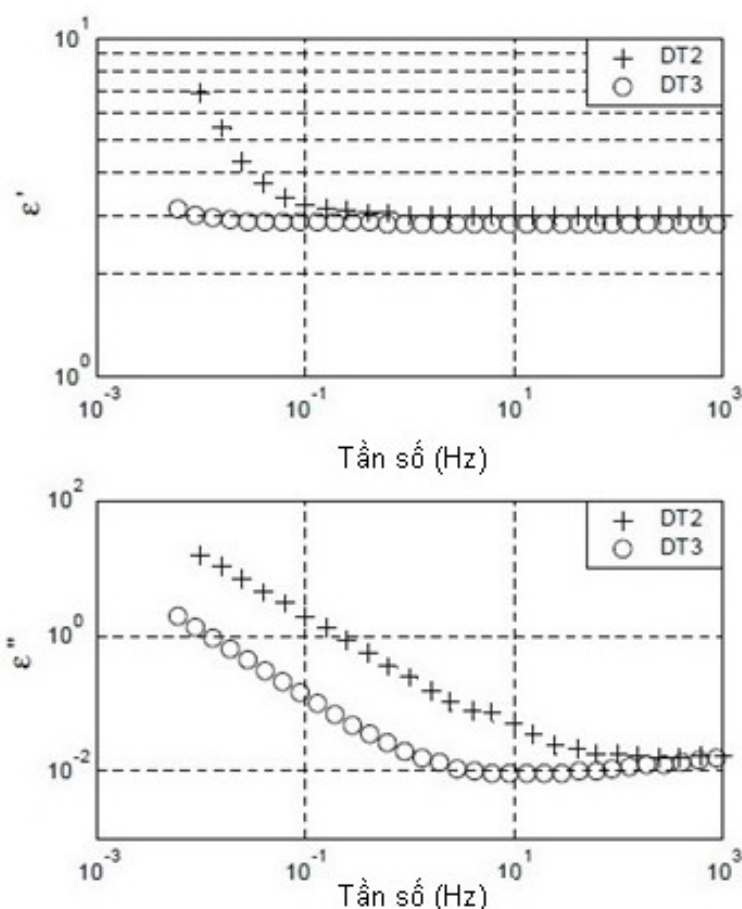


Hình 4.20. Phụ thuộc nhiệt độ của điện trở suất dầu trong MBA DT1 trước và sau khi lọc. Độ dốc tương ứng với điện áp đặt 0,5 V.

Những phép đo FDS trên MBA DT2 và DT3 đã cho thấy trạng thái cách điện khác nhau. Do không thể lấy được mẫu dầu từ những biến áp này để đo đặc nên không có số đo độ dẫn của dầu - một trong những thông số đầu vào cho mô hình X, vì thế mô hình này cũng không được thực hiện. Do đó, Những thông số xác định trong bảng 4.13 chỉ có từ mô hình X-Y (MODS). Những kết quả FDS, đưa ra với mục đích so sánh, như  $\varepsilon'(\omega)$  và  $\varepsilon''(\omega)$  xem trên hình 4.21. Điện dung hình học xác định bởi MODS được sử dụng để đưa ra những đường cong này từ điện dung phức đã đo. Giá trị tổn thất cao và sự phân tán của phần thực  $\varepsilon'(\omega)$  của hằng số điện môi phức  $\varepsilon^*(\omega)$  đã được tìm ra trong cách điện của MBA DT2. Điều này chỉ rõ sự cần thiết phải có biện pháp cấp bách để cải thiện trạng thái cách điện của MBA này.

Bảng 4.13 Thông số mô phỏng cho MBA DT2 và DT3

TN No.	“tấm chắn” mô hình X-Y				“giấy” mô hình X-Y			
	mc	$\sigma$	X	Y	mc	$\sigma$	X	Y
DT2	3,1	12	20	20	4	12	20	20
DT3	1,5	0,7	20	20	1,5	0,7	20	20



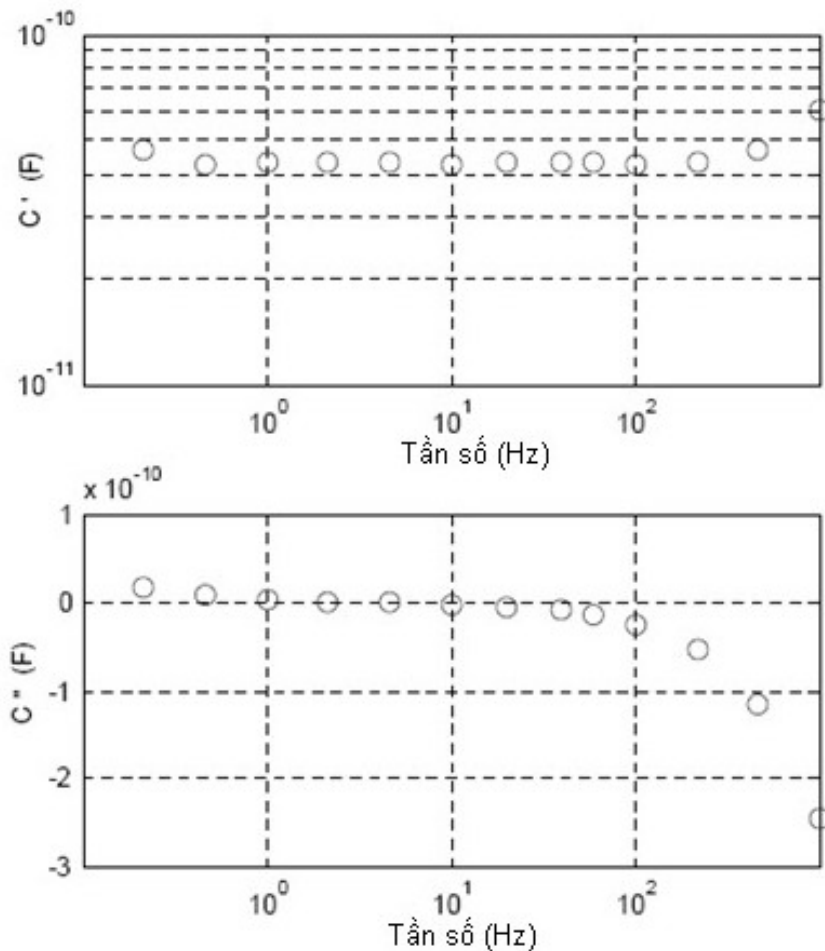
Hình 4.21 Kết quả đặc trưng điện môi cho DT2 và MBA dự phòng DT3

#### 4.3.3.4. Một số kết quả đo đặc biệt

Trong những nghiên cứu này xuất hiện vài sự khác biệt khi cố gắng thực hiện phép đo FDS qua cách điện chủ yếu của vài MBA. Trên hình 4.22 là kết quả từ những phép đo FDS đã làm trong máy T11.

Như trên hình vẽ, số đo điện dung là cực kỳ thấp ( $\sim 40$  pF) cho gam MBA công suất 24MVA được cách điện bằng giấy-dầu. Hơn nữa, tổn thất đo  $C''(\omega)$  là số âm ở miền tần số cao hơn 10Hz. Những kết quả phép đo FDS trên những MBA khác cùng chủng loại cũng tương tự như vậy. Kiểu thể hiện này có thể xảy ra khi đĩa mêtan được lắp đặt giữa cuộn dây cao và hạ áp được tiếp đất. Tuy nhiên, không hề tìm thấy thông tin tương tự ở hướng dẫn về cấu tạo bên trong của những biến áp này. Cần có sự nghiên cứu sâu hơn về vấn đề này trong thời gian tiếp theo.





Hình 4.22 điện dung đã đo  $C'(\omega)$  và tổn thất  $C''(\omega)$  của MBA T12

#### 4.3.4. Nhận xét

Khi sử dụng mô hình X-Y, đã tính đến trạng thái phức tạp của cách điện MBA (có những tấm ngăn và tấm đệm). Do vậy, cần nắm được cấu trúc hình học của MBA. Tuy nhiên, các công ty điện, thường không có những dữ liệu như vậy.

Phân tích độ nhạy của mô hình X-Y cho thấy ảnh hưởng của thành phần độ ẩm, độ dẫn dầu và thành phần đệm vào hằng số điện môi của hệ thống cách điện MBA ở 1 kHz là tương đối nhỏ. Ngoài ra, ảnh hưởng của thành phần tấm ép lên toàn bộ đáp ứng điện môi trong mô hình X-Y cũng là thấp. Hai ảnh hưởng này đã được quan sát khi thành phần vách ngăn ở bên trong chiếm tỷ lệ 20%-50%, thành phần tấm ép chỉ chiếm 15%-25%, độ dẫn dầu khoảng 10-400pS/m ở 250C, và thành phần độ ẩm trong tấm ép biến đổi từ 0,2 đến 5%. Trong phần lớn MBA, những thông số này giảm xuống ở một giới hạn nhất định.

Dựa vào những yếu tố trên, đưa ra một mô hình đơn giản gọi là mô hình X. Trong mô hình X, bỏ qua sự tồn tại của tấm đệm trong cách điện MBA. Mặt khác, bổ sung đo mẫu dầu để xác định độ dẫn dầu, để sau đó sử dụng trong mô hình hoá.

Kết quả cho thấy, hàm lượng độ ẩm được xác định bằng mô hình X rất gần với những giá trị xác định bằng mô hình X-Y. Mặc dù vậy, cả hai mô hình này đều cho kết quả thường cao hơn một chút so với kết quả phân tích dầu. Do vậy, cần tiếp

tục đo đáp ứng tần số của tấm ép dưới những điều kiện khác nhau. Cũng như cần kiểm tra mô hình đối ứng đối với đa số MBA lực thông dụng bằng cách so sánh kết quả mô hình đo FDS với những kết quả phân tích KFT. Những so sánh như vậy sẽ là hữu ích trong việc cải thiện chất lượng mô hình hoá.

Khi có đủ thông tin về cấu trúc bên trong MBA, nên so sánh kết quả thành phần tấm ép từ mô hình X với thành phần thực tế vách ngăn. Điều này giúp cho việc đánh giá tác động của các thành phần bị bỏ qua khi áp dụng mô hình và tăng độ chính xác của những số liệu thu được.

Phần lớn MBA được đo tại hiện trường đều được xác định là bị ẩm. Do đó, Những biện pháp phòng ngừa cần được áp dụng để tránh sự hư hỏng và già hoá trong những MBA này. Xa hơn nữa, CEB đã thiết lập quy trình thích hợp để lưu giữ cơ sở dữ liệu trong bảo dưỡng và đo đạc của tất cả MBA lực sử dụng

## **Chương 5: TỔNG HỢP, ĐÁNH GIÁ KỸ THUẬT, KINH TẾ VÀ ĐỀ XUẤT SƠ ĐỒ BẢO DƯỠNG HỢP LÝ ĐỐI VỚI MBA LỰC ĐÃ VÀ ĐANG VẬN HÀNH**

### **5.1. Đặt vấn đề**

Đánh giá về máy biến áp lực là phương pháp đánh giá tổng hợp phức tạp từ 2 chỉ tiêu tổng quát rất quan trọng: kinh tế và kỹ thuật. Trong chương này chúng tôi xin giới thiệu tới bạn đọc một số khía cạnh của vấn đề nêu trên.

Công thức (4.3) đưa ra chi phí thay thế/ đại tu (Replacement/Rebuilding Cost) CR để bổ sung cho việc quyết định quá trình các công việc thực hiện đối với một máy biến áp từ khi đưa vào vận hành cho đến khi chuẩn bị thay thế hoặc đại tu. Một số ví dụ chỉ rõ hiệu quả kinh tế giữa việc thay thế bởi máy biến áp mới trong hệ thống điện.

Đánh giá về kinh tế cũng bị ảnh hưởng bởi hệ số có lợi của máy biến áp và suất sự cố của các máy biến áp. Các giải thích này dựa trên các kinh nghiệm của các nước có hệ thống điện phát triển.

Những thủ tục thông thường để nhận biết và xác định những khuyết tật gây nguy hiểm cho vận hành của máy biến áp có thể dẫn đến sai lầm của người vận hành khi gặp phải những sự cố không điển hình.

Trước kia, việc theo dõi đánh giá máy biến áp được tính toán trong 10 năm, nhưng hiện nay, song song với việc kéo dài tuổi thọ của MBA đang vận hành, ví dụ như các máy biến áp lực đã vận hành được 20 ÷ 30 năm, có nhiều vấn đề kinh tế được đặt ra. Trên thực tế, việc quyết định vấn đề này dựa trên hai yếu tố tổng hợp: kinh tế và kỹ thuật ảnh hưởng lẫn nhau.

Phương pháp này được minh họa bằng một vài ví dụ lựa chọn mang lại hiệu quả kinh tế - thay thế máy biến áp cũ bằng máy mới so với việc đại tu hoặc thay mới các bộ phận. Các kết quả đạt được không mang tính rộng lớn vì các giá trị hệ số được mở ra trong tương lai. Một vài trong số đó là các giá trị thống kê, đặc biệt đối với việc đánh giá máy biến áp.

Hai trong số các hệ số được quan tâm dưới đây gồm:

Hệ số có lợi của máy biến áp và hiệu quả áp dụng.

Ảnh hưởng của suất sự cố trong suốt tuổi thọ trung bình của máy biến áp.

Đánh giá các điều kiện của máy biến áp lực được xây dựng trên cơ sở 3 bước xác định. Bước đầu tiên được tiến hành mà không cần cắt điện máy biến áp, phân loại máy biến áp dựa trên thời gian vận hành và tăng cường bảo dưỡng máy biến áp.

### **5.2. Sự cố ngừng hoạt động của các MBA lực và sự quản lý của Công ty Điện lực.**

Đảm bảo cung cấp điện liên tục cho khách hàng là một vấn đề quan trọng cần phải được giải quyết bởi các công ty Điện lực. Một vài trục trặc của máy biến áp có thể dẫn đến ngừng nguồn cung cấp. Xác định số lượng các giai đoạn trong thời gian máy biến áp ngừng hoạt động gọi là ‘hệ số sẵn sàng của máy biến áp lực’.

Nó là một trong những yếu tố quan trọng nhất trong quá trình đánh giá của các công ty Điện lực trong việc xác định quá trình bảo dưỡng các thiết bị trong hệ thống điện.

Trong thời gian dài cắt điện để phục vụ cho việc trung tu, đại tu, thay mới và sửa chữa nhỏ của máy biến áp cũng như việc thay thế vật liệu mới, hiện đại hoá đối với trạm không được quan tâm tới [39]. Cần xem xét đến khi cắt nguồn, mục đích hoạt động của hệ thống, bao gồm loại trừ việc cắt máy biến áp không tải. Do vậy, trong trường hợp máy biến áp ngừng hoạt động trong thời gian kéo dài, chỉ có duy nhất một thời kỳ ngắn khi cắt nguồn để thực hiện công việc đó được coi như thực hiện các công việc trong tương lai (ví dụ như: đại tu, quá trình sửa chữa, giải quyết sự cố - sửa chữa nhỏ).

Hệ số có lợi được tính toán theo công thức

$$P_t = 1 - \frac{\sum t_{off}}{T_u \sum L_t} \quad (4.1)$$

Trong đó:

$\sum t_{off}$  : là thời gian sự cố và sửa chữa (giờ).

$\sum L_t$  : số lượng máy biến áp.

$T_u$  : tổng số giờ của giai đoạn vận hành với hệ số được tính (giờ).

Đối với hư hỏng nhỏ thường xuyên xảy ra, đặc biệt đối với các máy biến áp phụ, thì không phải là điểm quan trọng để đánh giá tổng quát. Các kết quả điều tra tập trung vào tính chắc chắn, hiệu quả và rẽ đối với chi phí khi sửa chữa. Sửa chữa tại chỗ thông thường chỉ bằng 10 ÷ 15% so với chi phí khi sửa chữa tại nhà máy hay tại các trung tâm sửa chữa. Ngoài ra, nguyên tắc ứng dụng kiểm tra và sửa chữa tại chỗ về lý thuyết cũng như sự khác nhau về thời gian giữa sửa chữa tại chỗ và ở nhà máy sẽ được quyết định bởi hệ số phụ thuộc vào công suất của máy biến áp. [34, 35].

Có nhiều sự cố quan trọng, đặc biệt là các sự cố xảy ra trong hệ thống cách điện của máy biến áp. Phần lớn trong đó có thể sửa chữa tại nhà máy hoặc tại phân xưởng. Tất cả các sự cố đều được xác định trước trong khi làm các thủ tục khảo sát, chuẩn đoán và kiểm tra những sự cố chính.

Việc tập hợp, thống kê sự cố trong hệ thống điện đã được làm ở tất cả các Điện lực, nhưng chưa có cách gì để phân tách các loại sự cố (ví dụ: sự cố này là do sét, sự cố kia là do quá điện áp hồ quang hay do quá điện áp chuyển mạch v.v...). Đi vào cụ thể nghiên cứu công tác quản lý kỹ thuật của các Công ty điện lực, Công ty Truyền tải điện chúng ta chỉ thấy đơn thuần là sự thống kê số lượng sự cố ở các đường dây và trạm mà khó có thể phân tách chúng xảy ra do những nguyên nhân nào khác ngoài các nguyên nhân có trong các liệt kê như: đổ cột, vỡ sứ, đứt dây, tụt lều, không rõ nguyên nhân v.v... Qua đó thấy rằng, việc thống kê lại các sự cố xảy ra vẫn chưa được chú trọng. Nói chung, không phải sự cố nào cũng yêu cầu phải bảo dưỡng máy biến áp nhưng nó liên quan đến chất lượng chung của các máy biến áp điện lực và việc thiết kế/chế tạo sẽ gặp rất nhiều bất lợi [39].

### 5.3. Tỷ lệ sự cố ảnh hưởng đến tuổi thọ trung bình của MBA

Nếu máy biến áp lực được thiết kế và lắp đặt chính xác và được bảo trì đúng mức nó có thể làm việc trong thời gian rất dài. Quá trình lão hoá cách điện sẽ ảnh hưởng đến tuổi thọ của máy biến áp, máy biến áp chỉ có thể kéo dài được tuổi thọ nếu nhiệt độ làm việc không vượt quá nhiệt độ cho phép. Nó có thể là khi máy biến áp bị quá tải, điều này thường xuyên xảy ra đối với hệ thống điện của Việt Nam. Từ đây có thể thấy việc lão hoá cách điện trở thành một vấn đề rất quan trọng. Trên thực tế, tuổi thọ của máy biến áp chịu ảnh hưởng bởi những hệ số kỹ thuật, các kế hoạch hoặc thông số kinh tế, kèm theo đó là các độ tin cậy khác, sự phát triển của kỹ thuật, việc đáp ứng các thiết bị dự phòng và thiết bị phụ trợ khác.

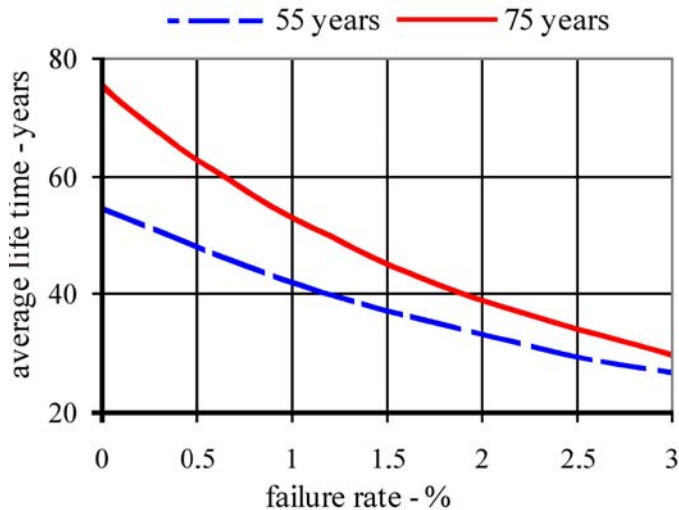
Hiện nay, các quan điểm đều cho thấy một máy biến áp chất lượng tốt có thể được vận hành tới 55 năm nếu nó không bị sự cố vĩnh cửu nào. Các sự cố thường là do các thành phần trong máy biến áp có tuổi thọ nhỏ hơn. Như vậy có thể thấy rằng tuổi thọ trung bình của máy biến áp lực bị giảm xuống do các bộ phận bên trong máy biến áp hư hỏng ngày càng tăng. Số lượng máy biến áp bị hư hỏng là một hàm của tỷ lệ sự cố được định nghĩa bằng số đơn vị bị hư hỏng trong một năm trong số lượng máy biến áp hoạt động bắt đầu từ năm này.

Nếu không có sự cố, tuổi thọ của toàn bộ máy biến áp lực liên quan đến số lượng các máy biến áp và số năm mà chúng vận hành. Từ vài máy biến áp xảy ra sự cố, toàn bộ thời gian hoạt động trong số lượng năm được lựa chọn 'm' sẽ thấp hơn.

Tuổi thọ trung bình của máy biến áp được tính theo công thức sau:

$$T_{av} = \sum_{k=1}^m (1-w)^{k-1}, \quad k=1 \dots m \quad (4.2)$$

Với m là tỷ lệ sự cố.



Hình 5.1: Tuổi thọ trung bình của một MBA là một hàm của tỷ lệ sự cố tính trong hai khoảng thời gian tương lai. (average life time-years: tuổi thọ trung bình tính bằng năm; failure rate - %: tỷ lệ sự cố tính bằng %; nét đứt: 55 năm; nét liền: 75 năm)

Thực tế tỷ lệ sự cố thay đổi theo thời gian. Ở trên công thức giả thiết rằng nó là không đổi hoặc nó là một giá trị thao tác trung bình trong số năm được lựa chọn.

Hơn nữa nó đã giả thiết rằng việc ngừng vận hành xảy ra trong năm làm giảm tuổi thọ của máy biến áp được tính bắt đầu từ đầu năm.

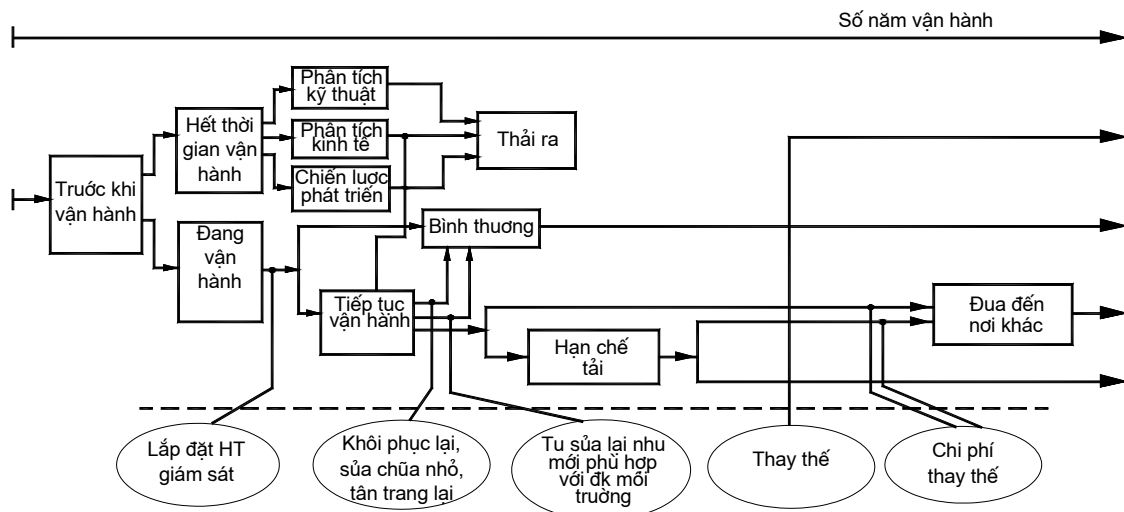
Trong các nghiên cứu về ảnh hưởng của sự cố đến tuổi thọ trung bình của máy biến áp ở hai giai đoạn "m" đã được lựa chọn: 55 năm và một giai đoạn dài hơn - 75 năm. Những giai đoạn có thể được coi là thời gian vận hành tương lai của lưới điện. Kết quả tính toán được đưa ra ở hình 5. 1.

Trong trường hợp tỷ lệ sự cố rất thấp, ở dưới 0,5%, việc giảm thời gian hoạt động trung bình là thấp, khoảng 12%. Nếu tỷ lệ sự cố là 2,5%, thì thời gian hoạt động trung bình là 2 lần. Ở tỷ lệ sự cố cao như vậy ảnh hưởng của thời gian hoạt động tương lai trên thời gian hoạt động trung bình là không quan trọng. Điều đó chứng tỏ rằng vấn đề quan trọng nhất sẽ là việc chế tạo các MBA có độ bền cao hơn, để các MBA có thời gian hoạt động lâu hơn tránh được các sự cố thường gặp (ví dụ như lão hoá do nhiệt và lão hóa cách điện).

#### 5.4. Hiệu quả của việc đại tu so với việc mua MBA mới.

Hệ số kinh tế là rất quan trọng khi quyết định bất kỳ sự đầu tư nào trong thời gian hoạt động của máy biến áp - Hình 5.2. Trong bất kỳ trường hợp nào ước lượng kinh tế cần bao gồm không chỉ chi phí tổn thất và bảo dưỡng mà còn bao gồm việc ngừng hoạt động với tất cả các chi phí liên quan (lắp đặt, vận chuyển, thiết bị phụ, tổn thất về thu nhập bán hàng, lắp đặt lại hệ thống cung cấp, v.v...), ô nhiễm môi trường, nguy cơ sự cố trong thời gian vận hành, v.v.... Những nguy cơ này dẫn đến câu hỏi - Nên sửa chữa hay thay mới máy biến áp?

Nhân viên vận hành có thể gặp phải câu hỏi này sau khi xảy ra sự cố nghiêm trọng của máy biến áp cũng như khi thiết bị đó đã gần kết thúc thời gian vận hành. Trong trường hợp đầu tiên, có thể loại bỏ thiết bị hư hỏng hoặc đại tu lại. Việc sửa chữa theo các phương pháp thông thường có lẽ sẽ không hợp lý, đặc biệt trong trường hợp khắc phục lại các máy biến áp sự cố cho thấy nhiều hạn chế. Mặt khác, việc sửa chữa yêu cầu phải có các phụ tùng thay thế phong phú. Khối lượng đó được so sánh khi số lượng các máy biến áp bị sự cố tăng lên với tỷ lệ sự cố và thời gian cần mua máy biến áp mới hoặc để sửa chữa một sự cố.



Hình 5.2: Sơ đồ bảo dưỡng hợp lý MBA đã và đang vận hành và kết hợp với quá trình đầu tư

Đánh giá về kinh tế có thể được thực hiện bằng các phương pháp thông thường đã biết. Ở công thức (4.2 và 4.3) bên dưới cho thấy chi phí thay thế / đại tu (CR). Nó đưa ra chi phí chiết khấu bảo dưỡng trung bình hàng năm và được tham chiếu tới hàng năm và được tham khảo trong một giai đoạn giả thiết “N” năm từ tính toán thực tế, ví dụ trong thời gian ngắn nên lựa chọn: thay thế/đại tu lại.

$$CR = C_R + \left( \Delta P_o + f^2 \Delta P_{CU} 8760 k_j \frac{(1+p)^N - 1}{p(1+p)^2} \right) + K_{inv} \frac{1}{(1+p)^2} + P_{end} P_{nf} k_{nen} 8760$$

$$\frac{(1+p)^N - 1}{p(1+p)^N} (3) + K_{ma} \frac{(1+p)^N - 1}{p(1+p)^N} - K_{scr} \frac{1}{(1+p)^n} \quad (4.3)$$

Trong đó:

CR: tổng chi phí của việc thay thế / đại tu lại bao gồm cả chi phí vận chuyển và lắp đặt.

$\Delta P_o$ ,  $\Delta P_{cu}$  - tổn thất không tải và có tải của MBA.

f - Giá trị phụ tải trung bình MBA tham chiếu tới công suất danh định.

$P_n$  - Công suất danh định của máy biến áp

$K_j$  - Chi phí một kWh cần bao gồm cả tổn thất không tải và có tải.

$k_{nen}$  - Chi phí 1 kWh chưa cung cấp (cho khách hàng).

p - Lãi suất, ví dụ như lãi suất trung bình qua thời gian chờ đợi,

N - Thời gian vận hành mong đợi của MBA đại tu /thay thế.

n - số lượng năm sau khi MBA đại tu cần thay thế bởi MBA khác.

$K_{inv}$  - Chi phí mua mới MBA hoặc chi phí của việc đại tu một MBA khác mà cần phải lắp đặt sau ‘n’ năm,

$P_{end}$  - Xác suất trung bình của năng lượng chưa được chuyển giao hoặc chưa được lấy lại,

$K_{ma}$  - Chi phí bảo dưỡng trung bình hàng năm.

$K_{scr}$  - giá trị còn lại của MBA cũ.

Đối với MBA mới bỏ qua giá trị  $K_{inv}$ .

### 5.5. Sự thay thế / trang bị mới đối với toàn bộ máy biến áp

Những phân tích dưới đây được xây dựng trên cơ sở dữ liệu tổng hợp từ những MBA được lắp đặt trong đầu những năm 80. Một số MBA đã được đại tu lại sau khi gặp sự cố hư hỏng nặng nề. Hiện nay, một câu hỏi đặt ra để hỗ trợ quyết định xử lý các MBA trong trường hợp chúng bị sự cố nặng nề đến mức chi phí sửa chữa tại xưởng là rất lớn. Khi đại tu, lõi và thùng giữ lại, trong khi cuộn dây mới thì thay mới hoàn toàn. OLTC (bộ điều áp dưới tải) thì không phải thay mà sẽ được sửa chữa lại. Những sứ xuyên và phần bị vỡ cũng được thay thế.

Từ sự so sánh tổng quát về chi phí bảo dưỡng, giá trị còn lại và chi phí năng lượng do gián đoạn cung cấp điện. Dẫn đến chúng ta sẽ đơn giản hóa công việc và cho phép tập trung vào vài phần tử, khó đưa ra các quyết định về kỹ thuật. Mấu chốt của vấn đề này là việc ước lượng như : tuổi thọ mong đợi của máy biến áp

được đại tu, tỷ lệ lãi suất, mức độ tổn thất và chi phí đại tu so sánh với chi phí lắp đặt máy biến áp mới.

Phần lõi (gông từ) được giữ lại, nên tổn thất không tải của máy biến áp được đại tu không thay đổi. Tổn thất có tải không thay đổi trong thực tế. Nó đã được giả thiết rằng tổn thất không tải của máy biến áp mới thấp hơn 2,5 lần so với máy biến áp bị sự cố và tổn thất có tải của máy biến áp mới chỉ bằng 80% tổn thất có tải so với máy biến áp cũ.

Ký hiệu  $k_j$  là chi phí năng lượng đối với 1MWh, trong khi mức tải trung bình của máy biến áp xấp xỉ 60 % mức tải danh định, thì chi phí cho đại tu, theo kinh nghiệm thu được, bằng  $40 \div 60\%$  chi phí lắp đặt máy biến áp mới. Lãi suất tại thời điểm hiện thời tương đối cao (khoảng 17% hoặc hơn) và sẽ giảm theo thời gian. Vì vậy, ước lượng thời gian hoạt động của máy biến áp sẽ là một dải rộng ví dụ : Thời gian hoạt động của máy biến áp mới cần phải đạt được 55 năm trong khi đối với máy biến áp đại tu tối thiểu bằng 40% giá trị đó, ít nhất là 25 năm.

Ba sự lựa chọn được phân tích :

- \* Ảnh hưởng của thời gian vận hành mong đợi của máy biến áp đại tu trên chi phí được chiết khấu trung bình hàng năm. Nó được giả thiết một giá trị lãi suất khoảng 12% và giá của việc đại tu - 50% so với giá lắp đặt máy mới.

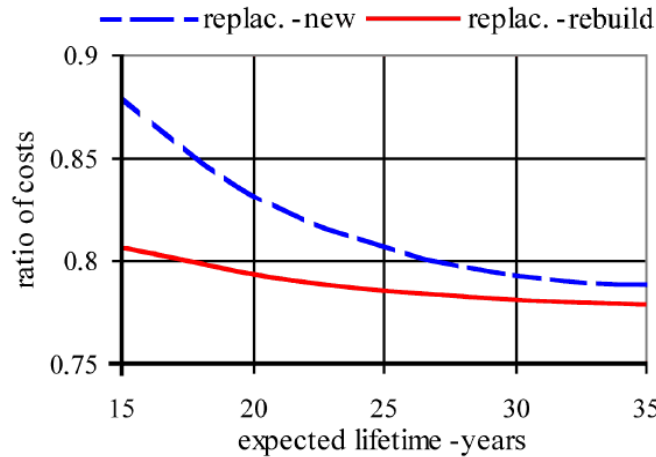
- \* Ảnh hưởng của lãi suất trên lợi nhuận thu được từ việc đại tu. Nó được giả thiết thời gian vận hành bằng 25 năm, trong khi chi phí đại tu được chỉ ra ở trên (ví dụ bằng 50%).

- \* Sự phụ thuộc lẫn nhau của CR và chi phí đại tu được thiết lập. Nó được giả thiết lãi suất là 12%, trong khi thời gian vận hành được mong đợi là 25 năm.

Trong tất cả 3 vấn đề liệt kê ở trên, nó được giả thiết rằng sau thời gian đưa máy biến áp vào đại tu, nó được thay thế bởi máy biến áp mới hoặc bởi một máy biến đã được sửa chữa khác. Giá trị CR của máy biến áp đại tu luôn luôn liên quan tới chi phí CR của máy biến áp mới. Hình 5.3; 5.4; 5.5 cho thấy hiệu quả việc đại tu từ quan điểm về chi phí CR.

Trong trường hợp khi máy biến áp khác đã được sửa chữa thay thế vào chỗ của máy biến áp đại tu trong thời gian máy biến áp đang đại tu, ảnh hưởng của thời gian hoạt động trên hiệu quả đại tu là thấp, hình 5.3. Tuy nhiên, việc thay thế bằng máy biến áp mới, có nghĩa là nếu máy biến áp được đại tu mà có tuổi thọ là 25 năm thì việc thay thế bằng máy biến áp đắt hơn sẽ không hiệu quả. Mở rộng thời gian vận hành sẽ không thay đổi hiệu quả một cách đáng kể. Từ đây ta thấy rằng: cả khi thời gian vận hành được mong đợi là tương đối ngắn (dưới 25 năm) có thể mong đợi những lợi ích kinh tế từ sự đại tu nếu máy biến áp sửa chữa thay thế cho máy biến áp đại tu.





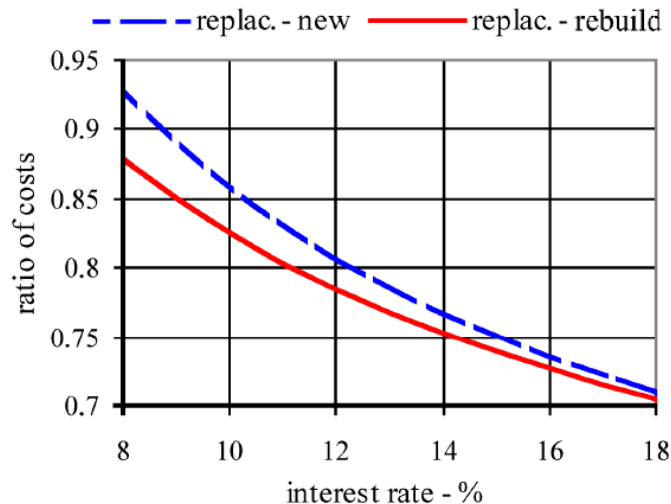
Hình. 5.3: Chi phí chiết khấu trung bình hàng năm của MBA đại tu đối với thời gian vận hành được mong đợi của MBA đại tu

(ratio of costs : tỷ lệ chi phí; expected lifetime -years: thời gian vận hành mong đợi - năm;

nét đứt : thay thế bởi MBA mới; nét liền: thay thế bởi MBA đại tu)

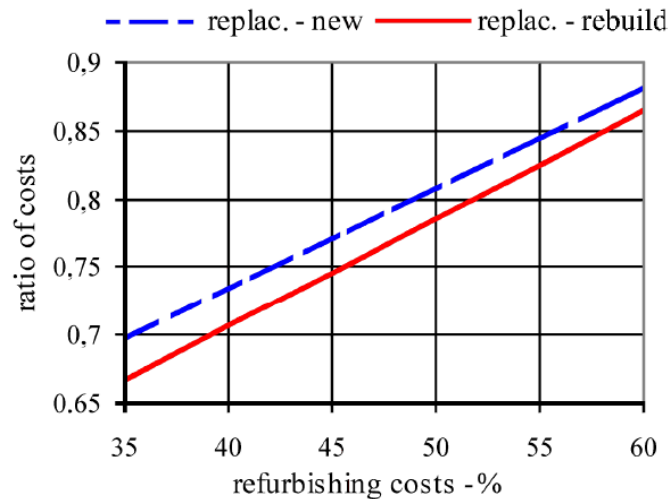
Trong thực tế lãi suất ảnh hưởng tới hiệu quả của việc đại tu nếu máy biến áp đại tu được thay thế bởi máy biến áp trung tu hoặc bằng 1 máy biến áp mới, xem hình 5.4. Khi đó lãi suất là rất thấp (dưới 10%), nói chung, hiệu quả của việc đại tu là không rõ rệt, đặc biệt trong trường hợp thay thế bởi máy biến áp mới.

Sự phụ thuộc lẫn nhau giữa chi phí đại tu và hiệu quả là tuyến tính, trong cả hai lựa chọn thay thế, hình 5.5. Trong ví dụ được nói tới, nếu giá đại tu lớn hơn 50% giá bán lẻ của máy biến áp mới thì sẽ khó khăn khi nói sự đại tu ưu điểm hơn việc thay thế các phần bị hư hỏng bởi cái mới hoàn toàn.



Hình. 5.4. Chi phí chiết khấu trung bình hàng năm của MBA đại tu đối với lãi suất.

(ratio of costs : tỷ lệ chi phí; interest rate-%: tỷ lệ lãi-%; nét đứt : thay thế bởi MBA mới; nét liền: thay thế bởi MBA đại tu)



Hình 5.5 Chi phí chiết khấu trung bình hàng năm của MBA đại tu đối với chi phí đại tu. (ratio of costs : tỷ lệ chi phí; refurbishing costs-%: chi phí đại tu lại - %; nét đứt : thay thế bởi MBA mới; nét liền: thay thế bởi MBA đại tu).

Trong khi máy biến áp đã được đề cập dựa trên việc tính toán chi phí được chiết khấu trung bình hàng năm trên cơ sở một vài đơn giản hóa. Như vậy, nó bao hàm việc chỉnh định khi tính toán về hiệu quả của việc đại tu. Nếu tỷ lệ chi phí chiết khấu trung bình hàng năm của việc đại tu và những máy biến áp mới không vượt quá 0,8 thì có thể kết luận việc đại tu là có hiệu quả.

Cho ví dụ đã nêu một trường hợp thường gặp nếu máy biến áp đại tu được thay thế bởi việc một máy biến áp sửa chữa khác, giá của việc đại tu không vượt quá 50% chi phí của máy biến áp mới và lãi suất lên tới trên 12%. Với điều kiện như vậy, nếu đại tu máy biến áp thì được thay thế bởi máy mới, khi đó chi phí cho việc đại tu là có hiệu quả khi thời gian vận hành được mong đợi của máy biến áp sửa chữa xấp xỉ 25 năm.

## CHƯƠNG VI: KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu phân tích của toàn bộ nội dung đề tài đã được trình bày ở trên ta có thể rút ra một số kết luận sau đây:

1. Việt Nam nằm trong một vùng khí hậu nhiệt đới, các máy biến áp thường đặt ngoài trời nên luôn chịu tác động của môi trường như: mưa, gió, nắng, bão, lụt, sương muối, hơi nước muối biển, nhiễm bẩn công nghiệp, bão cát, bão xoáy nhiệt đới v.v... và đặc biệt nhiệt độ, độ ẩm thường rất cao. Chính các yếu tố môi trường này cũng góp phần làm tăng nhiệt độ dầu và nhiệt độ cuộn dây của máy biến áp. Những yếu tố này tác động liên tục làm thay đổi cấu trúc của vật liệu nói chung và vật liệu điện nói riêng, làm sai lệch các chế độ vận hành bình thường, làm hư hỏng dần các thành phần trong máy biến áp nói chung và đặc biệt là hệ thống cách điện nói riêng.

2. Khi máy biến áp vận hành, dòng điện chạy trong dây quấn của MBA khi đó từ trường trong lõi thép sẽ sinh ra các tổn hao công suất và biến thành nhiệt làm nóng các chi tiết của máy biến áp. Sự tăng nhiệt này làm giảm khả năng sử dụng của vật liệu tác dụng. Khi tăng nhiệt độ thì vật liệu cách điện bị lão hóa [3]. Vật liệu cách điện thường gặp ở máy biến áp là các loại giấy, bìa, bakêlit, vải sợi, dầu máy biến áp, các loại sơn, nói chung là vật liệu cấp A và B. Đối với các loại cách điện này khi tăng nhiệt độ lên  $8^{\circ}\text{C}$  với vật liệu cấp A và  $12^{\circ}\text{C}$  với vật liệu cấp B thì tuổi thọ của vật liệu cách điện giảm đi một nửa. Để vận hành hợp lý máy biến áp phải tuân thủ theo quy định nhiệt độ cho phép lớn nhất.

3. Các thử nghiệm điện thông dụng từ trước đến nay như là điện trở cách điện, chỉ số phân cực và hệ số tổn thất ở tần số công nghiệp cung cấp rất ít thông tin về cách điện MBA do chúng chỉ đưa ra các giá trị đo đơn (*single value*). Để khắc phục nhược điểm này, các phép đo đáp ứng điện môi, đo điện áp hồi phục (*Return voltage measurements – RVM*), đo dòng phân cực và hồi phân cực (*polarisation and depolarisation current measurements – PDC*) và gần đây nhất là phổ điện môi ở miền tần số (*frequency domain dielectric spectroscopy measurements – DS*), dần được đưa vào sử dụng để kiểm tra cách điện trong MBA đặc biệt là trong đánh giá mức độ già hóa và hàm lượng ẩm của cách điện rắn.

Phương pháp phổ điện môi là phương pháp phân tích các đáp ứng của điện môi theo tần số của điện áp đặt vào (từ  $10^{-5}$  Hz đến  $10^7$  Hz). Phương pháp này đã được sử dụng phổ biến từ lâu nay trong ngành nghiên cứu vật liệu nói chung để phân tích cấu trúc của các polymer và sau đó phương pháp phổ điện môi áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu các tính chất về điện của vật liệu cách điện nói riêng.

Trong việc kiểm tra cách điện trong MBA thì so với phương pháp hồi phục điện áp (RVM), phương pháp dòng phân cực và hồi phân cực (PDC) thì phương pháp phổ điện môi là tiên tiến nhất vì chúng mới chỉ xuất hiện trong vài năm gần đây nhờ sự phát triển công nghệ và những công trình nghiên cứu của nhiều nhà khoa học trên thế giới đối với vấn đề phân tích và diễn giải các kết quả đo.

Phương tiện để thực hiện phương pháp này là thiết bị IDAX, nó có thể cho những đánh giá chính xác về trạng thái MBA. Vì thế, có thể làm tăng khả năng bảo dưỡng kỹ thuật, tăng tuổi thọ của MBA. Mặt khác, tất cả các phần thiết bị của máy

đo IDAX được tích hợp trong 1 vỏ hộp và có thể dễ dàng vận chuyển đi các nơi. Giúp cho việc có thể sử dụng tại hiện trường các trạm biến áp cũng như trong phòng thí nghiệm. IDAX cho khả năng đánh giá tin cậy độ ẩm sau 1 lần thử nghiệm và thử nghiệm này có thể được thực hiện ở nhiệt độ bất kỳ nào của thiết bị được thử nghiệm.

Chương trình mô phỏng của thiết bị cho phép thay đổi tất cả các thông số cách điện đối với mô phỏng hình học bất kỳ và sử dụng công thức đối với sự phụ thuộc nhiệt độ của giấy – dầu. Chương trình mô phỏng của thiết bị IDAX tạo ra các đường cong mẫu và so sánh chúng với đường cong đo đặc cho tới khi nhận được sự tương ứng cao nhất (sự trùng lặp cao nhất). Kết quả cuối cùng đưa ra tỷ lệ phần trăm độ ẩm trong giấy cách điện ở dạng các đại lượng riêng biệt về độ dẫn của dầu.

4. Các kết quả nghiên cứu và phân tích của đề tài có thể áp dụng để xác định hay kiểm tra đánh giá chất lượng của hệ thống cách điện trong máy biến áp nói riêng và trong các thiết bị điện cao áp nói chung, xác định hàm lượng ẩm riêng biệt của phần cách điện rắn và độ dẫn điện của dầu trong các MBA lực. Qua đó sẽ nhằm giúp cho các cán bộ kỹ thuật thuộc các lĩnh vực như: nghiên cứu khoa học, chế tạo, sửa chữa, kiểm tra thử nghiệm v.v.... và công nhân trực tiếp vận hành các MBA hiểu rõ hơn bản chất, khả năng làm việc của MBA, từ đó sẽ tìm ra cách vận hành MBA sao cho hợp lý nhất để tận dụng được khả năng tải tối đa trên cơ sở đảm bảo tuổi thọ của MBA lực.

Như vậy, chúng ta có thể khẳng định sự ưu việt của phương pháp đo phổ điện môi và phương pháp này hoàn toàn có thể áp dụng tại điều kiện vận hành hệ thống điện tại Việt Nam.

Theo lộ trình phát triển công nghệ điện lực của Tập đoàn Điện lực nói riêng và toàn ngành điện nói chung, việc bảo dưỡng, sửa chữa các thiết bị trạm, đường dây trong đó có máy biến áp lực sẽ được hiện đại hóa và theo xu hướng chung của thế giới, đó là chẩn đoán theo thời gian thực và sửa chữa, bảo dưỡng theo điều kiện thực vận hành của thiết bị. Với định hướng như vậy, việc trang bị các thiết bị sử dụng phương pháp đo phổ điện môi là thực sự cần thiết.

## PHẦN PHỤ LỤC

PHỤ LỤC 1 : *Tiêu chuẩn, khối lượng thí nghiệm và yêu cầu máy biến áp mới lắp đặt, sau sửa chữa và đại tu định kỳ.*

PHỤ LỤC 2: *Tiêu chuẩn lọc dầu biến áp*

## PHỤ LỤC 1

***Tiêu chuẩn, khối lượng thí nghiệm và yêu cầu máy biến áp mới lắp đặt, sau sửa chữa và đại tu định kỳ.***

Hạng mục thí nghiệm	Đối tượng thí nghiệm			Tiêu chuẩn thí nghiệm	Ghi chú
	Máy mới lắp đặt	Máy sau sửa chữa có thay cuộn dây	Đại tu định kỳ		
1	2	3	4	5	6
1 Đo cách điện của các bu lông ép lót thép và các xà ép tôn bằng megaôm mét	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	Điện trở không được giảm thấp hơn 50% so với số liệu xuất xưởng của nhà chế tạo. Nếu không có số liệu của nhà chế tạo thì không được thấp hơn 2 megaôm.	Có thể thay thế đo điện trở cách điện bằng thử điện áp tăng cao tần số công nghiệp 1000–2000V trong 1 phút
2. Đo điện trở 1 chiều cuộn dây ở tất cả các nấc	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	Chênh lệch điện trở giữa các nấc tương ứng của các pha và so sánh với số liệu xuất xưởng của nhà chế tạo số liệu thí nghiệm định kì không được lệch quá 2% nếu không có lý do đặc biệt ghi rõ trong lý lịch máy.	
3. Đo tỷ số biến áp ở tất cả các nấc phân áp	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	Tỷ số biến áp đo được ở các nấc tương ứng của các pha không được chênh lệch nhau quá 2%. Đối với các máy biến áp có ĐAT sai lệch không quá trị số của một nấc điều chỉnh. Tỷ số biến áp đo được so với số liệu của nhà chế tạo không được sai lệch quá $\pm 5\%$ .	
4. Kiểm tra tổ đầu dây MBA 3 pha và cực tính MBA 1 pha.	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	Tổ đầu dây phải phù hợp với số liệu của nhà chế tạo và với kí hiệu trên nhãn máy	
5. Đo điện trở cách điện các cuộn dây R60	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	Điện trở cách điện các cuộn dây không tiêu chuẩn hoá và sau khi quy đổi về cùng một nhiệt độ thì không được giảm quá 30%	Đối với các MBA từ 150kV trở xuống đo ở nhiệt độ trên

				so với số liệu của nhà chế tạo hoặc so với lần thí nghiệm trước. Trường hợp không có các số liệu trên để so sánh có thể tham khảo giới hạn tối thiểu cho phép của R60 theo bảng 2-1.	10°C. Đối với các MBA từ 220kV trở lên đo ở nhiệt độ trên 30°C.
6. Xác định tỷ số hấp phụ $k=R60/R15$	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	Tỷ số hấp phụ không tiêu chuẩn hoá. Thông thường trong khoảng 10 – 30°C tỷ số này không thấp hơn 1,3 đối với các MBA có cách điện không bị nhiễm ẩm.	Nếu nhiệt độ cao hoặc thấp hơn khoảng trên tỷ số hấp phụ có thể giảm thấp
7. Xác định tỷ số điện dung C2/C50 và $\Delta C/C$	Không bắt buộc	Không bắt buộc	Không bắt buộc	Tỷ số C2/C50 không được tăng quá 15% so với số liệu xuất xưởng của nhà chế tạo. Trường hợp không có số liệu này thì tham khảo giá trị tối đa cho phép tại bảng 2.2 Tỷ số $\Delta C/C$ tương tự như vậy, giá trị tối đa cho phép xem tại bảng 2.3	Tỷ số C2/C50 chủ yếu dùng cho MBA 35kV. Tỷ số $\Delta C/C$ chủ yếu dùng cho các MBA 110kV trở lên.
8. Đo tgđ góc tổn thất điện môi của các cuộn dây	Bắt buộc đối với cấp điện áp từ 110kV trở lên	Bắt buộc đối với cấp điện áp từ 110kV trở lên	Bắt buộc đối với cấp điện áp từ 110kV trở lên	Trị số tgđ không tiêu chuẩn hóa. Khi qui đổi về cùng một nhiệt độ trị số này không được tăng quá 30% so với số liệu xuất xưởng của nhà chế tạo hoặc so với số liệu thí nghiệm định kỳ. Trường hợp không có các số liệu này có thể tham khảo trị số tối đa cho phép theo bảng 2.4. trong mọi trường hợp $tg\delta \leq 1\%$ được coi là đạt yêu cầu.	Đối với các MBA từ 150kV trở xuống đo ở nhiệt độ trên 10°C. Đối với các MBA từ 220kV trở lên đo ở nhiệt độ trên 30°C.
9. Đo tgđ các sứ đầu vào có dầu và thử điện áp xoay chiều tăng cao đối với sứ khác. Thí nghiệm dầu trong sứ	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	tgđ các sứ đầu vào có dầu không được cao hơn các trị số trong bảng 2.5. Các sứ khác phải thử điện áp tăng cao tần số công nghiệp theo bảng 2.6. Dầu trong sứ phải đạt tiêu chuẩn như trong phụ lục 1.	Đối với MBA từ 35kV trở xuống các sứ đầu vào được thí nghiệm điện áp tăng cao tần số công nghiệp cùng với cuộn dây
10. Thí nghiệm ngắn mạch	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	Điện áp ngắn mạch không được sai lệch quá 10% và tổn thất ngắn mạch không	

				được tăng lên quá 10% so với số liệu tính toán (số liệu trong lý lịch xuất xưởng)	
11. Thí nghiệm không tải	Bắt buộc	Bắt buộc	Bắt buộc	<p>Dòng không tải không được sai lệch quá 30% so với số liệu tính toán (số liệu xuất xưởng).</p> <p>Tổn thất không tải của MBA 3 pha từ 35kV trở xuống và các MBA 1 pha từ 110kV trở lên không được sai lệch quá 10% so với số liệu xuất xưởng.</p> <p>Tổn thất không tải của các MBA 3 pha điện áp 110kV trở lên không được sai lệch quá 5% so với số liệu xuất xưởng.</p> <p>Tổn thất và dòng không tải của 2 pha A và C đối với các MBA 3 pha không được sai lệch khác nhau quá 5 %.</p>	Có thể thí nghiệm trực tiếp ở điện áp định mức hoặc có thể thí nghiệm ở điện áp thấp (5 – 10% định mức). rồi tính toán quy đổi hoặc không quy đổi. Nếu tiến hành TN ở điện áp thấp thì cần tiến hành trước khi đo từ 1 chiều
12. Thí nghiệm điện áp tăng cao tần số công nghiệp đối với cách điện chính.	Bắt buộc đối với cấp điện áp 35kV trở xuống	Bắt buộc đối với cấp điện áp 35kV trở xuống	Bắt buộc đối với cấp điện áp 35kV trở xuống	<p>Trị số điện áp thí nghiệm đối với các máy mới lắp đặt và các máy sau sửa chữa có thay thế hoàn toàn cuộn dây lấy bằng 90% điện áp thử của nhà chế tạo khi xuất xưởng hoặc bằng 90% số liệu của bảng 2.7.</p> <p>Đối với các MBA sau sửa chữa có thay thế một phần cuộn dây hoặc một phần cách điện thì thử bằng 85% của nhà chế tạo hoặc của bảng 2.7</p>	Đối với các máy có cấp điện áp từ 110kV trở lên hạng mục này chỉ tiến hành khi có nguồn điện áp phù hợp. Nếu MBA có trung tính cách điện không hoàn toàn thì thí nghiệm điện áp tăng cao chỉ tiến hành riêng với trung tính.
13. Thí nghiệm điện áp tăng cao giữa các vòng dây	Không bắt buộc	Không bắt buộc	Không bắt buộc	Điện áp thử bằng 1,3 lần điện áp định mức ở tần số công nghiệp hoặc bằng 2 lần điện áp định mức ở 100Hz. thời gian thử 3 phút	Nếu không có điều kiện có thể bỏ hạng mục này.
14. Thí nghiệm mẫu dầu trong máy	bắt buộc	bắt buộc	bắt buộc	Xem phụ lục 1	



15. Thí nghiệm bộ điều áp dưới tải (ĐAT)	bắt buộc	bắt buộc	bắt buộc	Theo hướng dẫn của nhà chế tạo. có thể tham khảo phụ lục 9.	
16. TN các máy biến dòng nằm trong máy	bắt buộc	bắt buộc	bắt buộc	Theo tiêu chuẩn thí nghiệm biến dòng đo lường.	
17. Thí nghiệm đo kín vỏ máy	bắt buộc	bắt buộc	bắt buộc	Đối với các MBA có bảo vệ bằng màng chất dẻo tạo áp lực không khí 0,1kg/cm <sup>2</sup> trong túi khí. Đối với các MBA khác tạo áp lực không khí khô 1kg/cm <sup>2</sup> trên mặt thoáng dầu hoặc thử bằng cột dầu cao 0,6 m (cho các máy có bộ làm mát hình ống hoặc mặt phẳng) và 0,3m (cho các máy có bộ làm mát dạng sóng hoặc bộ làm mát tháo rời). Chiều cao cột dầu tính từ đỉnh bình dầu nhưng không thấp hơn đỉnh sử dụng dầu vào. Thời gian thử ít nhất 3 giờ.	
18. Đóng điện áp định mức 3 – 5 lần vào máy	bắt buộc	bắt buộc	bắt buộc	Không được có gì khác lạ chứng tỏ MBA không đạt yêu cầu.	

**PHỤ LỤC 2**  
**TIÊU CHUẨN DẦU BIẾN ÁP**

No	Hạng mục thí nghiệm	Dầu mới trong máy	Dầu trong vận hành
1	2	3	4
1	Điện áp chọc thủng, kV Dưới 15kV 15 đến 35kV Dưới 110kV 110 đến 220kV 500kV	30 35 45 60 70	25 30 40 55 60
2	Tang góc tổn thất điện môi (%) không quá ở 20 <sup>0</sup> C ở 90 <sup>0</sup> C	0,2 2,2	1 7
3	Trị số axit mg KOH trong 1g dầu không quá	0,02	0,25
4	Hàm lượng axit và kiềm hoà tan trong nước	Không có	0,1 mgKOH
5	Hàm lượng tạp chất cơ học theo khối lượng % không quá	Không có	Không có
6	Nhiệt độ chớp cháy kín <sup>0</sup> C không thấp hơn	135	Giảm không quá 5 <sup>0</sup> C so với lần phân tích trước
7	Độ ổn định kháng ôxy: - Khối lượng cặn % không quá - Trị số axit dầu sau ôxy hoá mg KOH trên 1g dầu không quá	0.01  0.1	Không thử  Không thử
8	Chỉ số Natri không quá	0,4	Không thử
9	Độ nhớt động m <sup>3</sup> /s không lớn hơn Ở 20 <sup>0</sup> C Ở 50 <sup>0</sup> C	28 9,0	Không thử Không thử
10	Hàm lượng nước theo khối lượng % không quá	0,001	0,0025
11	Hàm lượng khí hoà tan % không quá 220 đến 330kV 500kV	1,0 0,5	2,0 2,0

Ghi chú:

- Mục 11 chỉ tiến hành đối với các MBA có bảo vệ bằng màng chất dẻo hoặc Nitơ. Trong trường hợp có các thiết bị khử khí dầu đặt tới chân không trên 759mmHg trong khoang chân không thì không cần kiểm tra hạng mục này.

2. Mục 10 chỉ kiểm tra đối với các MBA có bảo vệ bằng màng chất dẻo. Đối với các MBA không bảo vệ bằng màng chất dẻo, cấp điện áp 110 – 150 kV cũng lên kiểm tra hàm lượng nước. Đối với các máy loại này hàm lượng nước cho phép không quá 0,002% (20g/tấn)
  3. Mục 2 chỉ bắt buộc đối với các MBA từ 11kV trở lên.
- Việc kiểm tra đơn giản dầu cách điện chỉ bao gồm các mục 1, 3, 4, 5 và 6.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm văn Bình, Lê văn Doanh. “MBA lý thuyết vận hành, bảo dưỡng, thử nghiệm”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà nội 2002.
- [2]. Trịnh Hùng Thám, Nguyễn Hữu Khái, Đào Quang Thạch, Lã Văn Út, Phạm Văn Hoà, Đào Kim Hoa, “Nhà máy điện & trạm biến áp (phần điện)”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1998.
- [3.]. Nguyễn Hữu Kiên, “Nghiên cứu đánh giá tác động của môi trường đối với CD cuộn dây và các biện pháp nâng cao tuổi thọ MBA lực trong HTĐ Việt Nam”, Viện Năng lượng, Hà Nội 2004.
- [4]. Nguyễn Đức Sỹ, “Sửa chữa máy điện và MBA” Nhà xuất bản giáo dục, Hà nội, 2000.
- [5]. Nguyễn Đình Thắng "Vật liệu kỹ thuật điện", Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2004.
- [6]. The Phuc Dinh, "Fuzzy expert system application for determination of transformer overload capability" University of Tasmania-Department of Electrical and Electronic Engineering, Feb, 1996.
- [7]. B.V.Vanin, Yu.N.Lvov, B.N.Neklepaev, K.M.Antipov, A.S.Surba, M.I.Chichinsky. Power transformer of 110-500 kV voltage level failures in the course of operation (Elektricheskiye stantsii, N0 9, 2001, pp53-58)
- [8]. A.P.Dolin, V.K.Kraynov, V.V.Smekalov, V.P.Shamko. Failure rate. Assessment of state and repair of power transformers. (Energetic, N0 6, 2001, pp 30-35).
- [9]. V.V.Smekalov\* – RAO "EES of Russia", A.P.Dolin., N.F.Pershina –Scientific & Production Enterprise "Technoservice-Electro", "Condition assessment and life time extension of power transformers" CIGRE-2002.
- [10]. Wong, C.C. “Substation power transformer loading analysis and computer simulation of load ability under realistic operating conditions
- [11] S. M. Gubanski, P. Boss, G. Csepes, V. D. Houhanessian, J. Filippini, P. Guuinic, U. Gafvert, V. Karius, J. Lapworth, G. Urbani, P. Werelius, and W. S. Zaengl, "Dielectric response methods for diagnostics of power transformers", Electra, No. 202, pp. 23-34, June, 2002
- [12] A. K. Jonscher, Dielectric relaxation in solids, 2nd ed, Chelsea Dielectrics Press Limited, London, UK, 1996
- [13] U. Gafvert, H. Kols, and J. Marinko, "Simple method for determining the electrical conductivity of dielectric liquids", Nordic IS, Helsinki, Finland, 1986, pp. 23:1 - 23:5, 1986
- [14] A. Helgeson, "Analysis of Dielectric Response Measurement Methods and Dielectric Properties of Resin-Rich Insulation During Processing", PhD., Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 2000

- [15] R. Eriksson and S. M. Gubanski, "Condition assessment of HV apparatus through measurement of dielectric response", Jubilee congress of the University of Peradeniya, Peradeniya, Sri Lanka, 2000
- [16] M. C. Lessard, L. Van Nifterik, M. Masse, J. F. Penneau, and R. Grob, "Thermal aging study of insulating papers used in power transformers", Proceedings of Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena - CEIDP '96, New York, NY, USA, pp. 854-9 vol.2, 1996
- [17] A. M. Emsley, X. Xiao, R. J. Heywood, and M. Ali, "Degradation of cellulosic insulation in power transformers. Part 3: effects of oxygen and water on ageing in oil", IEE Proceedings-Science, Measurement and Technology, Vol. 147, No. 3, pp. 115-19, 2000
- [18] R. Neimanis, "On estimation of Moisture Content in Mass Impregnated Distribution Cables", PhD. Thesis, KTH, Stockholm, Sweden, 2001
- [19] J. B. Whitehead, Impregnated paper insulation, John Wiley & Sons, New York, 1935
- [20] D. Kind, High Voltage Technology, Vieweg, 1985
- [21] L. Centurioni and G. Coletti, "Transformer Insulation", Wileys Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering online, 2000
- [22] T. O. Rouse, "Mineral insulating oil in transformers", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 14, No. 3, pp. 6-16, 1998
- [23] I. Fofana, V. Wasserberg, H. Borsil, and E. Gockenbach, "Retrofilling conditions of high voltage transformers", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 17, 2001
- [24] P. Griffin and J. D. Christie, "Effects of Water and Benzotriazole on Electrostatic charge generation in Mineral Oil/Cellulose Systems", Static Electrification in Power Transformers, June 1993, 1993
- [25] C. A. Eckelman, "Wood Moisture Calculation", Purdue University, Department of Forestry and Natural Resources,
- [26] Y. Du, M. Zahn, B. C. Lesieutre, A. V. Mamishev, and S. R. Lindgren, "Moisture equilibrium in transformer paper-oil systems", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 15, No. 1, pp. 11-20, 1999
- [27] V. Sokolov, P. Griffin, and B. Vanin, "Moisture equilibrium and moisture migration within transformer insulation systems", CIGRE WG 12.18 " Life management of transformers ", Draft 3
- [28] "IEEE guide for diagnostic field testing of electric power apparatus - part 1: oil filled power transformers, regulators, and reactors", IEEE std.62- 1995, 1995
- [29] S. Itahashi, H. Sakurai, H. Mitsui, and M. Sone, "Analysis of state of water in oil impregnated Kraft-paper and its effect on conduction phenomena", Proceedings of 1993 IEEE 11th International Conference on Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids (ICDL '93), New York, NY, USA, pp. 472-6, 1993

- [30] Y. Du, A. V. Mamishev, B. C. Lesieutre, M. Zahn, and S. H. Kang, "Moisture Solubility for Different Conditioned Transformer Oils", *IEEE transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 8, No. 5, pp. 805 - 811, October 2001
- [31] CHANDIMA EKANAYAKE: Application of Dielectric Spectroscopy for Estimating Moisture Content in Power Transformers. Technical report no.465L Department of Electric Power Engineering Chalmers University of Technology SE-41296 Göteborg Sweden 2003
- [32]. "Relative humidity," *Britannica online*, 1994 - 1997 Encyclopedica Britannica, Inc.,.
- [33]. H.P. Moser, *Transformerboard*, Special print of Sientia Electrica, translated by EVH-Weidmann Lim., St., Johnsbury, Vermont, USA, Section C, 1979.
- [34]. G.Beer, G.Gasparani, F.Osimo, and F.Ross, "Experimental Data on the Drying-out of Insulation Samples and Test Coil for Transformers," CIGRE Paper No.135,1996.
- [35]. IDAX-206 АНАЛИЗАТОР СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ Точное и надежное определение влажности изоляции силовых трансформаторов; Компания Пергам-Инжиниринг; фирма Programma Electric AB
- [36]. S.M. Gubanski, J. BLennow, L. Karlsson, K. Feser, S. Tenbolen, C. Neumann, H. Moscicka-Grzesiak, A. Filipowski, L. Tatarski "Reliable Diagnostics of HV Transformer Insulation for Safety Assurance of Power Transmission System" Cigre Paris Aug 2006
- [37]. Frequency Domain (low) Dielectric Loss Measurement for Transformer Diagnostics. - *School of Computer Science and Electrical Engineering The University of Queensland. 2004*
- [38]. Analysis of Dielectric Response Measurement Methods and Dielectric Properties of Resin-Rich Insulation During Processing. - *Anders Helgeson 2002*
- [39]. Sobocki R., Assessment of power transformer failure rate in Polish Power Grid Company as a factor of reliability and continuity of supply, CIGRE, SC12 Colloquium, Dublin, 2001.
- [40]. Nguyễn Hữu Kiên; Lê Văn Khánh: Nghiên cứu ứng dụng phương pháp phân tích dòng phân cực và khử phân cực để xác định hàm lượng độ ẩm trong CĐ rắn của MBA lực. Hà Nội 2006.